

УДК 621.825.7

І.І. Сидоренко, д-р техн. наук, проф.,
В.О. Курган, спеціаліст,
Одес. нац. політехн. ун-т

ПРУЖНА МУФТА З НЕЛІНІЙНИМ МЕХАНІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

І.І. Сидоренко, В.О. Курган. **Пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком.** Проведено дослідження принципу дії, конструктивних особливостей і рекомендацій щодо застосування існуючих типів пружних муфт з пружними суцільнометалевими елементами. Доведено ефективність пасивних пружних муфт з лінійним механічним зворотним зв'язком. Висунуто пропозицію про поліпшення їх функціональних властивостей шляхом заміни лінійного механічного зворотного зв'язку у їх структурі на нелінійний. Наведено перспективну конструкцію пружної муфти з нелінійним механічним зворотним зв'язком.

Ключові слова: пружна муфта, нелінійний механічний зворотний зв'язок.

И.И. Сидоренко, В.О. Курган. **Упругая муфта с нелинейной механической обратной связью.** Проведены исследования принципов действия, конструктивных особенностей и рекомендаций по применению существующих типов упругих муфт с упругими цельнометаллическими элементами. Доказана эффективность пассивных упругих муфт с линейной механической обратной связью. Выдвинуто предложение по улучшению их функциональных свойств путем замены линейной механической обратной связи в их структуре на нелинейную. Приведена перспективная конструкция упругой муфты с нелинейной механической обратной связью.

Ключевые слова: упругая муфта, нелинейная механическая обратная связь.

I.I. Sydorenko, V.O. Kurgan. **Elastic coupling with a nonlinear motional feedback.** Research of operating principles, structural features and recommendations on application of existent types of elastic couplings with resilient solid-metal members, is carried out. Efficiency of passive elastic couplings with a linear motional feedback is proved. A proposal for improving their functional properties by substituting the linear motional feedback in their structure by the nonlinear one, is advanced. A promising design of a elastic coupling with a nonlinear motional feedback is presented.

Keywords: elastic coupling, nonlinear motional feedback.

Дослідження в галузі теорії нелінійних коливань показали, що нелінійність пружної системи значно впливає на коливальні процеси, які відбуваються в ній. Зміна виду коливальних процесів у ряді випадків забезпечує розширення діапазону робочих частот обертання привода машинного агрегату. Тому структурна та параметрична оптимізація відомих конструкцій пасивних пружних муфт (ППМ) з нелінійною пружною характеристикою (НПХ) як основних елементів, що визначають пружність привода, а також розробка нових конструкцій таких муфт є актуальним науково-практичним завданням.

У більшості відомих конструкцій ППМ з НПХ пружний зв'язок між напівмуфтами реалізовано за допомогою пружних суцільнометалевих елементів. Муфти з таким видом пружних елементів найчастіше застосовують при вирішенні розповсюдженого і досить складного для розв'язання завдання віброізоляції сусідніх ділянок волопровода від дії низькочастотних крутильних коливань з великими амплітудами. Це завдання передбачає значні величини деформації пружних елементів муфти, що не дозволяє використовувати, через невідповідність фізико-механічних властивостей, гумові або комбіновані (гумо-металеві) пружні елементи.

В існуючих конструкціях ППМ з НПХ застосовують як нестандартні пружні суцільнометалеві елементи, які мають власну НПХ (рідко, через їх високу вартість), так і різні способи організації функціональної взаємодії між структурними елементами муфти і стандартними пружними елементами з лінійною пружною характеристикою, які забезпечують НПХ муфти в ціло-

му [1, 2]. Організацію функціональної взаємодії між елементами муфти і пружними елементами, з метою реалізації їх НПХ можна умовно класифікувати за трьома основними конструктивними напрямками: реалізація послідовного навантаження пружних елементів; “нетрадиційний” спосіб навантаження пружних елементів; реалізація змінного положення точки (лінії) прикладання навантаження до пружного елемента (рис. 1).

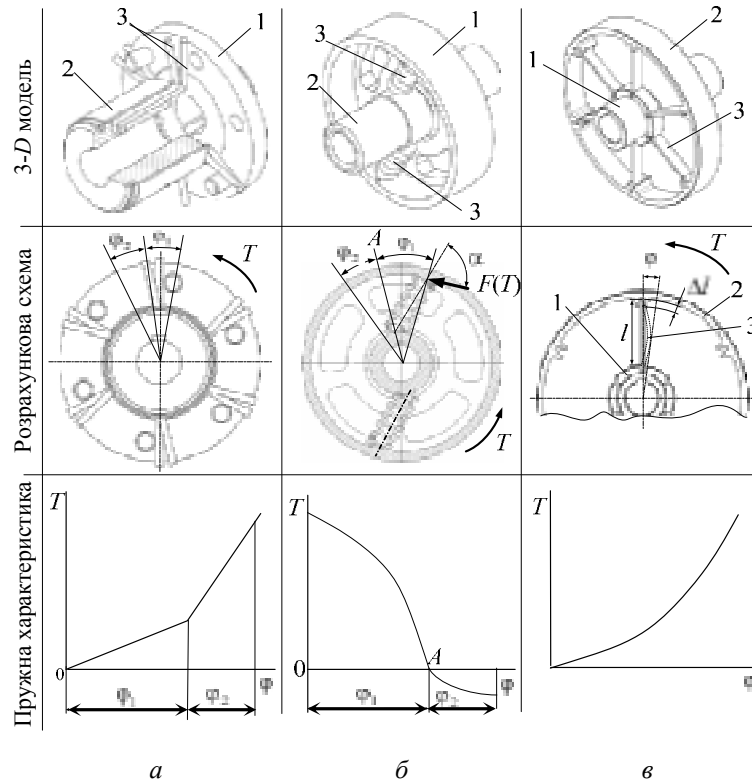


Рис. 1. Пасивні пружні муфти з НПХ

На рисунку 1, *a* представлено конструкцію ППМ, НПХ якої, згідно з першим конструктивним напрямком, реалізована за рахунок послідовного навантаження пружних елементів. Муфта складається з двох напівмуфт 1 і 2. У напівмуфті 1 передбачені виступи, які контактують з г-подібними, попарно закріпленими на напівмуфті 2 пружними елементами 3, які створюють пружний зв'язок. Елементи у парі зорієнтовані один відносно одного під деяким кутом. У встановленому діапазоні величини обертового моменту кут закручування напівмуфт становить величину φ_1 , при цьому навантаження між напівмуфтами передає один з пружних елементів пари. При перевищенні деякої величини обертового моменту, відповідне до нього зростання кута закручування напівмуфт φ_2 приводить до того, що у передачі навантаження починають брати участь одночасно два пружних елементи пари. Подібні конструкції дозволяють реалізувати НПХ шматочно-лінійного виду, які іноді, з певною похибкою, можна розглядати у вигляді НПХ “жорсткого” виду.

На рисунку 1, *б* наведено конструкцію ППМ, НПХ якої, згідно з другим конструктивним напрямком, визначена “нетрадиційним” способом навантаження її пружних елементів. Муфта складається з двох напівмуфт 1 і 2, пружний зв'язок між якими реалізовано за допомогою пружин стиснення 3. Пружини встановлено таким чином, що лінія дії сили $F(T)$, яка викликає їх деформацію складає з віссю пружини деякий кут α . У робочому діапазоні навантажень кут закручування напівмуфт становить величину φ_1 , при цьому пружні елементи працюють на стискання в стані, близькому до стійкої рівноваги. При перевищенні обертовим моментом деякої величини деформація пружних елементів призводить до того, що кут повороту напівмуфт дося-

гає граничного значення, при якому муфта практично втрачає навантажувальну здатність (точка A — лінія дії сили, що викликає осьову деформацію циліндричної пружини, стає перпендикулярною до її осі). Подальше збільшення кута закручування напівмуфт в діапазоні φ_2 визначає роботу пружних елементів муфти на розтягнення у стані, близькому до стійкої рівноваги. Подібні конструкції отримали назву систем з *квазінульовою жорсткістю* [2]. Вони дозволяють реалізувати комбіновану НПХ, яка складається з ділянки, що відповідає зменшенню жорсткості ($\varphi < \varphi_1$) і ділянки, що відповідає збільшенню жорсткості ($\varphi > \varphi_1$). Слід зазначити, що системи з квазінульовою жорсткістю не мають широкого застосування в техніці, оскільки більшість з них розроблено як пасивні запобіжні пристрої з *одиничним спрацьовуванням*. Це передбачає обов'язкове налагоджування пристрою після його спрацьовування з метою відновлення притаманних йому захисних властивостей. Для представленої конструкції налагоджування після спрацювання полягає у примусовому поверненні кута закручування напівмуфт в діапазон $\varphi < \varphi_1$. Крім того, такі пристрої не призначені для реверсивних приводів, а застосування пружин стискання для роботи в режимі стискання-розтягування дуже неефективне.

На рисунку 1, в представлено конструкцію ППМ, НПХ якої, відповідно до третього конструктивного напрямку, визначено реалізацією змінного положення лінії прикладення навантаження до пружного елемента. Муфта складається з двох напівмуфт 1 і 2, пружний зв'язок між якими реалізовано консольно закріпленими на напівмуфті 1 пружними елементами 3, які виконані у вигляді плоских пружин. У початковий момент часу вільний кінець пружини знаходиться в певному положенні, утворюючи лінії контакту з поверхнею криволінійного паза напівмуфти 2, яка і є лінією прикладення навантаження. При дії обертового моменту пружний елемент деформується і його вільний кінець більш щільно прилягає до поверхні криволінійного паза. Завдяки цьому ефекту відбувається зміна положення лінії контакту, яка і визначає зміну плеча прикладення навантаження Δl до консольно закріпленого пружного елемента. Шляхом варіювання форми криволінійних пазів напівмуфти 2 конструкція дозволяє реалізувати сім'ю НПХ тільки "жорсткого" виду.

Узагальнюючи результати досліджень принципу дії, конструктивних особливостей і рекомендацій щодо застосування існуючих ППМ з НПХ, слід зазначити, що через обмежені функціональні можливості вони не мають широкого застосування, а використовуються головним чином при вирішенні ряду індивідуальних завдань.

Альтернативою до застосування в складі привода машинного агрегата ППМ з НПХ є активні муфти (АМ). Головною перевагою АМ у порівнянні з ППМ є їх здатність реалізувати під час роботи необхідну за тих чи інших міркувань НПХ в залежності від зміни одного або декількох певних параметрів, які називають *контрольованими*.

При синтезі структури АМ найчастіше використовують один контрольований параметр, яким зазвичай приймають величину обертаючого моменту або кутову швидкість. Тому, крім пружного зв'язку між напівмуфтами, у її структурі обов'язково присутні спеціальні датчики, система перетворення і посилення їх сигналів, а також пристрій коригування пружної характеристики. Обов'язковою умовою функціонування АМ, що визначає їх як активні системи, є наявність зовнішнього джерела енергії. Пружний зв'язок у відомих АМ, як правило, має електромагнітну природу і реалізується за допомогою електромагнітів, які розглядаються як виконавчі механізми. Система управління електромагнітами традиційно є внутрішньою, тобто безпосередньо розташованою у середині муфти, що визначає відносно малі габарити таких АМ. Слід зазначити, що відомі АМ з пружним зв'язком електромагнітної природи не забезпечують захист привода машинних агрегатів від впливу коливань великих амплітуд. Це пов'язано з особливістю даного пружного зв'язку, який полягає в тому, що відстань між елементами електромагнітної системи, яка визначає необхідну щільність магнітного поля рідко перевищує 5...10 мм. У разі перевищення зазначеної відстані, що характерно для випадку коливань з великими амплітудами, можливе порушення пружного зв'язку між півмуфтами таких АМ. Ця обставина вказує на те, що поки ще немає альтернативи для пружних суцільнометалевих елементів при реалізації пружного зв'язку навіть у конструкціях АМ працюють в умовах впливу коливань великих амплітуд.

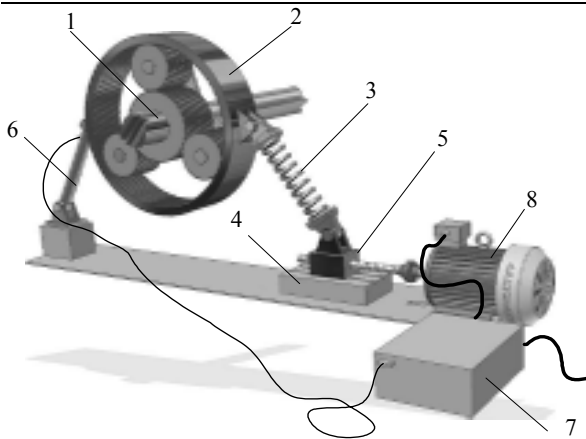


Рис. 2. Активна планетарна муфта

Результатами досліджень, присвячених синтезу АМ з пружним зв'язком на основі пружних суцільнометалевих елементів, стало створення ряду схожих за складом АМ оригінальної структури [3]. Наприклад, одна з таких АМ, яка уявляє собою елемент сполучення між ділянками валопровода 1, включає в себе планетарний редуктор 2, що виконує функції муфти (рис. 2).

Корпус редуктора через пружний суцільнометалевий елемент у вигляді циліндричної пружини стиснення 3 взаємодіє з нерухоною основою 4 через проміжний елемент — рухому опору 5. Контрольованим параметром прийнято обертаючий момент, зміна величини

якого оцінюється за динамічною реакцією корпусу редуктора, для чого між ним і нерухоною основою встановлений датчик-штанга 6. Сигнал від датчика передається на систему управління 7 для посилення і обробки. Система управління за заданим алгоритмом визначає і забезпечує необхідну кількість обертів і напрямок обертання вала електродвигуна 8, який утворює з рухоною опорою 5 передачу “гвинт-гайка”, викликаючи лінійне переміщення останньої. Враховуючи зв'язок рухомої опори 5 з одним з кінців пружини 3, можна зазначити, що НПХ даної конструкції реалізована за другим конструктивним принципом з представленої класифікації і визначена “нетрадиційним” способом навантаження пружних елементів. Аналіз усіх подібних структур АМ дозволяє віднести їх до активних систем із зовнішнім розташуванням системи управління, що не кращим чином характеризує їх габарити.

Узагальнюючи результати досліджень принципу дії, конструктивних особливостей і рекомендацій щодо застосування існуючих АМ слід зазначити, що їх вибіркоче застосування викликано наявними обмеженнями за параметрами коливальних процесів, істотними габаритами, високою вартістю і в ряді випадків недостатньою надійністю.

Результати досліджень, присвячених синтезу НПХ різних видів за допомогою ППМ з пружними суцільнометалевими елементами, свідчать про те, що функціональні можливості таких муфт можуть бути істотно розширені при подальшому розвитку їх структури. Причому розвиток структури включає в себе не тільки впровадження в неї нових елементів, а і розширення діапазону функціональних взаємозв'язків між існуючими [4]. Роботи в даному напрямку привели до створення ряду принципово нових конструкцій ППМ [5...7]. Їх загальна особливість полягає в тому, що на пружні елементи муфт, крім основного їх призначення — передачі навантаження, покладено функцію аналізу його величини. Так, взаємне переміщення напівмуфт під дією навантаження у вигляді їх відносного кута закручування, який визначається деформацією пружних елементів, прийнято як контрольований параметр, що має вигляд переміщення. З метою прямого перетворення контрольованого переміщення в коригувальний вплив на пружний елемент (також у вигляді певного переміщення), що дозволяє реалізувати НПХ муфти, у її структуру введено механічну передачу. Функціональне призначення введеної механічної передачі у загальній концепції розвитку структури муфти повністю відповідає критеріям зворотного зв'язку, прийнятим в теорії автоматизованого управління технічними системами [1]. Дана обставина дозволила авторам анонсувати розроблені ППМ як *пасивні пружні муфти з механічним зворотним зв'язком* (ППМ з МЗЗ) (рис. 3).

На рисунку 3, а представлена конструкція ППМ з МЗЗ, що складається з напівмуфт 1 і 2, пружний зв'язок між якими реалізовано за допомогою пружин стискання 3. У муфті використана МЗЗ у вигляді рейкової передачі, що складається з вал-коліщатка 4, жорстко пов'язаної з напівмуфтою 1 і зубчастими рейками 5, які переміщуються по напівмуфті 2. Реалізація НПХ у поданій конструкції відповідає другому конструктивному напрямку з представленої класифі-

кації і визначена “нетрадиційним” способом навантаження пружних елементів. Однак на відміну від аналога (див. рисунок 1, б) діапазон коригуючого впливу $y(\varphi)$, що викликає зміщення кінців пружин, визначає їх стійку роботу тільки на стискання.

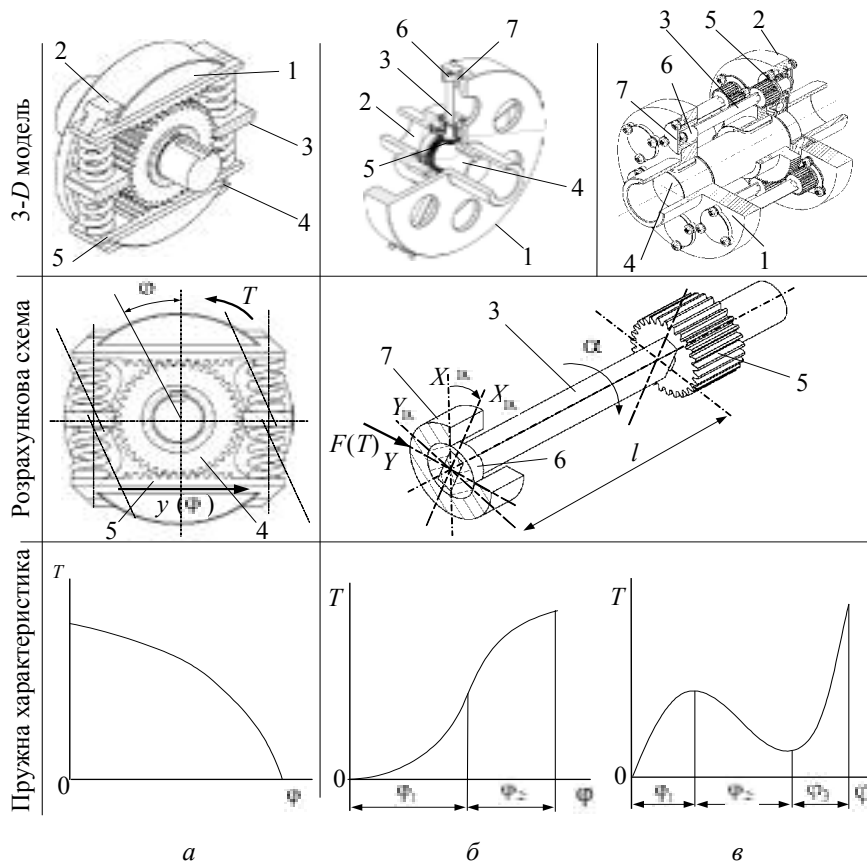


Рис. 3. Пасивні пружні муфти з МЗЗ

На рисунку 3, б і в представлені конструкції ППМ з МЗЗ, що складаються з напівмуфт 1 і 2, пружний зв'язок між якими реалізовано плоскими пружинами, встановленими в радіальному (б) і осьовому (в) напрямку. У даних конструкціях МЗЗ реалізована у вигляді конічної (б) і циліндричної (в) зубчастої передачі. Функціональна взаємодія елементів муфт з елементами МЗЗ відбувається так: жорсткий зв'язок напівмуфти 1 і центруючого вал-коліщатка 4 визначає кут повороту останнього на величину, яка дорівнює куту закручування напівмуфт 1 і 2 при передачі обертаючого моменту; контакт зубів вал-коліщатка 4 і зубчастих вінців поворотних втулок 5 визначає поворот обертальних втулок і закріплених у них пружних елементів 3 на кут $\alpha = u\varphi$, де u — передатне відношення зубчастої передачі, що утворюється вал-коліщатком і зубчастим вінцем втулки.

З наявності точкового контакту між пружним елементом 3 та напівмуфтою 1 (контакт кульки 6 на вільному кінці пружного елемента 3 з втулкою 7 на напівмуфті 1), а також нерухоме з'єднання одного кінця пружного елемента з втулкою 5 впливає, що схема навантаження пружного елемента в даному випадку відповідає вигину консольно закріпленої балки. При цьому конструкція забезпечує контрольовану орієнтацію головних осей перерізу пружного елемента по відношенню до постійної лінії дії сили згину, забезпечуючи тим самим зміну жорсткості пружних елементів і реалізацію необхідної НПХ муфти. Реалізація НПХ у поданій конструкції відповідає третьому конструктивному напрямку представлені класифікації і визначена реалізацією змінної точки (лінії) програми навантаження до пружного елемента.

Аналізуючи МЗЗ представлених конструкцій, слід зазначити, що оскільки він є механічною передачею з постійним передатним відношенням, то представлені конструкції можуть бути віднесені до ППМ з лінійним механічним зворотним зв'язком (ЛМЗЗ). Залежно від прийнятого передавального відношення ЛМЗЗ, який отримав назву *коефіцієнт функції керування*, такі муфти дозволяють реалізувати різні НПХ. Серед них НПХ, що визначають нелінійне зменшення жорсткості муфти (див. рисунок 3, а), НПХ з ділянками “м'якого” і “жорсткого” видів, а також комбінації у потрібній послідовності перерахованих раніше НПХ у вигляді самостійної комбінованої характеристики (див. рисунок 3, б і в). Комбіновані НПХ становлять особливий інтерес, оскільки вони можуть бути отримані за допомогою АМ і ніколи раніше не реалізовувалися за допомогою відомих конструкцій ППМ. Тому конструкції, які дозволяють реалізувати комбіновані НПХ, прийняті як перспективні і підлягали подальшим дослідженням.

Дослідження, присвячені синтезу НПХ перспективних конструкцій ППМ з ЛМЗЗ, показали, що ці характеристики безпосередньо залежать від форми перерізу пружного елемента і при розв'язанні деяких завдань з'ясувалося, що необхідні форми перерізу досить складні. Це викликало ряд нерозв'язаних завдань технологічного характеру [4]. У зв'язку з цим проведено дослідження, які дозволили висунути припущення про те, що на базі розроблених ППМ з ЛМЗЗ можна отримати досконалішу як функціонально, так і технологічно конструкцію за умови реалізації в структурі ППМ нелінійного механічного зворотного зв'язку. Одним з результатів проведених досліджень можна вважати конструктивне рішення за новою структурою (рис. 4).

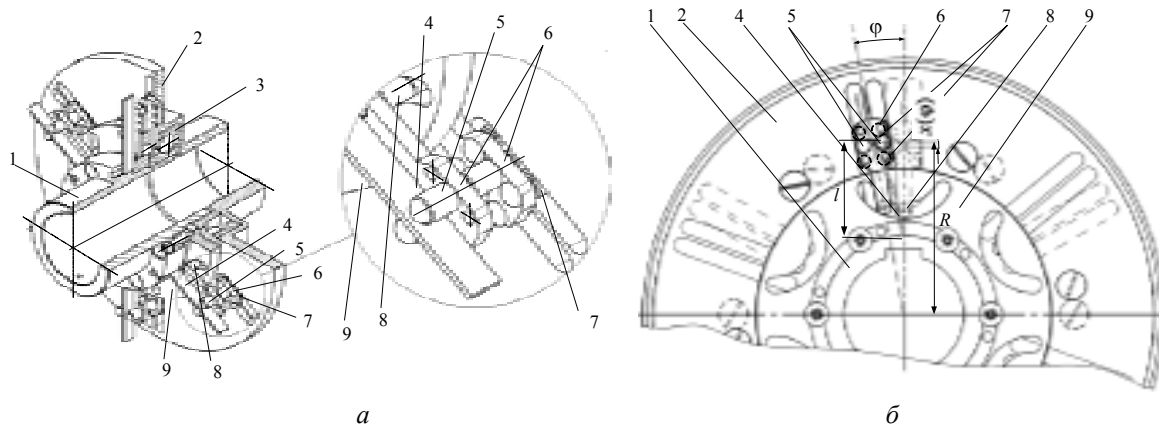


Рис. 4. Пасивна пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком: 3D-модель (а); розрахункова схема (б)

Розроблена муфта містить рушійну 1 і ведену 2 напівмуфти, підшипник кочення 3 між ними, для забезпечення їх співвісного розташування; пружний зв'язок між напівмуфтами 1 і 2 утворено плоскими пружними елементами 4, які одним кінцем радіально консольно закріплені на напівмуфті 1, а вільним кінцем по контактній лінії, перпендикулярній пружній осі пружного елемента, контактують з навантажувальними роликками 5 штовхачів 6, які своїми напрямними роликками 7 контактують з радіальними проточками напівмуфти 2; роликки опорні 8 штовхачів 6 контактують з поверхнею криволінійних пазів диску 9, який жорстко закріплений на напівмуфті 1. Штовхачем 6 і криволінійним пазом диску 9 утворено кулачковий механізм з кінематичним замиканням. Дія обертального моменту на рушійну напівмунту 1 приводить до обертання відносно неї на деякий кут φ веденої напівмуфти 2, що обумовлено деформацією (згином) плоскої пружини 4. Деформація плоскої пружини 4 виникає внаслідок того, що навантажувальні роликки 5 штовхача 6 контактують з вільним кінцем плоскої пружини 4, другий кінець якої консольно закріплений на напівмуфті 1, а напрямні роликки 7 штовхача 6 контактують з радіальними проточками напівмуфти 2. Контакт опорного ролика 8 штовхача 6 з поверхнею криволінійного паза диска 9 викликає радіальне переміщення штовхача 6 $x(\varphi)$ вздовж радіальних проточок напівмуфти 2. Величина і напрямок радіального переміщення штовхача 6 обумовлені формою

криволінійного паза диска 9 і відображають закономірність контрольованого переміщення контактної лінії прикладання навантаження від навантажувальних роликів 5 до консольно закріпленої плоскої пружини 4, що і приводить до реалізації потрібної характеристики НПХ.

Отже, основні переваги запропонованої конструкції у порівнянні з розглянутими полягає у застосуванні нелінійним механічним зв'язком кулачкового механізму з кінематичним замиканням. Зважаючи на те, що форма криволінійного паза диска навіть з відомими технологічними обмеженнями може бути дуже складна, можна стверджувати:

— запропонований пристрій здатний реалізувати широкий діапазон НПХ, які обумовлені виразом

$$c_{об}(\varphi) = \frac{n E J_x (R + x(\varphi))^2}{(l + x(\varphi))^3},$$

де n — кількість пружних елементів;

E — модуль пружності матеріалу пружних елементів;

J_x — момент інерції перерізу пружного елемента;

R — відстань між лінією контакту прикладання навантаження до пружного елемента і віссю обертання муфти;

l — плече прикладання навантаження до пружного елемента у вигляді відстані між його консольним закріпленням і лінією контакту прикладання навантаження;

$x(\varphi)$ — радіальне переміщення штовхача;

— запропонований пристрій має можливість швидкого переналаштування власної НПХ шляхом заміни диска на інший з необхідним криволінійним пазом.

Таким чином, застосування запропонованого конструктивного рішення у вигляді пасивної пружної муфти з нелінійним механічним зворотним зв'язком дозволить значно знизити динамічні навантаження, забезпечить можливість оптимізації динамічних процесів типових складових машин і механізмів у вигляді ділянок валопроводу або трансмісії.

Література

1. Вульфсон, И.И. Нелинейные задачи динамики машин / И.И. Вульфсон, М.З. Коловский — М.: Машиностроение, 1968. — 328 с.
2. Нагорняк, С.Г. Предохранительные муфты с потерей устойчивости при перегрузках / С.Г. Нагорняк // Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — К.: Техніка, 1978. — № 26. — С. 45 — 50.
3. А. с. 717433 СССР/ Упругая муфта с изменяемой характеристикой / В.С. Гапонов, В.И. Евменкин, Н.Ф. Киркач, К.Н. Логвинов. — Оpubл. 22.03.1980 // Бюл. — 1980. — № 7.
4. Сидоренко, И.И. Управление жесткостью механических систем при помощи виброизолирующих устройств с обратной связью / И.И. Сидоренко // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2005. — Вып. 2 (24). — С. 30 — 35.
5. А. с. 1581923 СССР. Упругая муфта / Щекин Б.М., Сидоренко И.И. — Оpubл. 05. 01. 85 // Бюл. — 1985. — № 27.
6. Патент України на корисну модель UA 60617. Пружна муфта / І.І.Сидоренко (Україна). — Оpubл. 25.06.2011 // Бюл. — 2011. — № 12.
7. Сидоренко, И.И. Защита приводов машинных агрегатов от динамических нагрузок с помощью муфт управляемой жесткости / И.И. Сидоренко // Детали машин. — К.: Техніка, 1990. — Вып. 50. — С. 73 — 77.

References

1. Vul'fson, I.I. Nelineynye zadachi dinamiki mashin [Nonlinear Problems of Machine Dynamics] / I.I. Vul'fson, M.Z. Kolovskiy — Moscow, 1968. — 328 p.
2. Nagornyak, S.G. Predokhranitel'nye mufty s poterey ustoychivosti pri peregruzkakh [Safety Clutches with Stability Loss in Overloading] / S.G. Nagornyak // Detali mashin: Resp. mezhved. nauch.-tekhn. sb. [Machine Elements: Rep. Interdep. Sci.-Tech. Collected Papers] — Kyiv, 1978. — # 26. — PP. 45 — 50.

3. A. s. 717433 SSSR/ Uprugaya mufta s izmenyaemoy kharakteristikoy [Author's Certificate 717433 USSR. Elastic Coupling with a Variable Characteristic] / V.S. Gaponov, V.I. Evmenkin, N.F. Kirkach, K.N. Logvinov. — Opubl. 22.03.1980 // Byul. [Published 22.03.1980 // Bulletin] — 1980. — # 7.
4. Sidorenko, I.I. Upravlenie zhestkost'yu mekhanicheskikh sistem pri pomoshchi vibroizoliruyushchikh ustroystv s obratnoy svyaz'yu [Mechanical Systems Rigidity Control with the Help of Vibration Isolation Feedback Devices] / I.I. Sidorenko // Tr. Odes. politekhn. un-ta [Transac. of the Odessa Polytech. Univ.] — Odessa, 2005. — Issue 2 (24). — PP. 30 — 35.
5. A. s. 1581923 SSSR. Uprugaya mufta [Author's Certificate 1581923 USSR. Elastic Coupling] / Shchekin B.M., Sidorenko I.I. — Opubl. 05. 01. 85 // Byul. [Published 05. 01. 85 // Bulletin] — 1985. — # 27.
6. Patent Ukrainy na korysnu model UA 60617. Pruzhna mufta [Patent of Ukraine for a Useful Model UA 60617. Elastic Coupling] / I.I.Sydorenko (Ukraine). — Opubl. 25.06.2011 // Biul. [Published 25.06.2011 // Bulletin] — 2011. — # 12.
7. Sidorenko, I.I. Zashchita privodov mashinnykh agregatov ot dinamicheskikh nagruzok s pomoshch'yu muft upravlyaemoy zhestkosti [Protection of Machine Aggregates' Drives from Dynamic Loads with the Help of Controlled Rigidity Clutches] / I.I. Sidorenko // Detali mashin [Machine Elements] — Kyiv, 1990. — Issue 50. — PP. 73 — 77.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Дашенко О.Ф.

Надійшла до редакції 16 вересня 2011 р.