

СТРУКТУРНО-МОДУЛЬНА ПОБУДОВА ОБМЕЖУВАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

Наведено опис структури обмежувального механізму як технічної системи на базі функціонального підходу. Подано основні характеристики функціонування та розподілу енергетичних потоків модулів обмежувальних механізмів. На базі розподілу обмежувальних механізмів за функціональним принципом на окремі модулі виведено основні залежності для визначення якісних характеристик їх функціонування.

Ключові слова: обмежувальний механізм; модульна побудова; технічна система; запобіжна муфта; синтез; проектування.

Постановка проблеми. Модульний підхід до побудови машин, і обмежувальних механізмів (ОМ) зокрема, є одним із перспективних напрямків забезпечення відповідних якісних показників. Це пояснюється тим, що експлуатаційні характеристики окремо виділених за головною функцією і уніфікованих модулів значно краще піддаються формалізації та експериментальному моделюванню, що, у свою чергу, відкриває можливості до забезпечення високих якісно-оптимальних експлуатаційних характеристик машин. При цьому забезпечення високої якості машин базується на якості відповідних складових елементів, мінімізації їх кількості та скороченні відповідних міжелементних зв'язків.

Аналіз останніх досліджень. Модульну побудову машин досліджувало багато відомих вчених і дослідників [2–4], у результаті чого на сьогоднішній день існують ефективні методики їх проектування, оптимізації основних експлуатаційних характеристик. Зазначені дослідження об'єднує певний класичний підхід до забезпечення якісних характеристик машин: об'єкт проектування розглядається як наперед конструктивно і функціонально визначений елемент: запобіжна муфта, патрон для нарізання різі тощо. На нашу думку, з розвитком комп'ютерної техніки і технологій виробництва, на базі цих досліджень необхідно формувати новий підхід до проектування обмежувальних механізмів, який повинен базуватися на модульному принципі побудови. Тобто первинною для конструктора має виступати головна функція ОМ, забезпечення виконання якої здійснюється в системі взаємозв'язків головних функцій функціонально розділених модулів, що входять до ОМ. При цьому самі модулі можуть виступати в ролі ОМ.

Постановка завдання. З метою розробки основних підходів до модульного принципу побудови ОМ необхідно визначити їхню модульну ієрархію як технічної системи та визначити основні елементи, виділити головні, основні та допоміжні функції. Необхідно виокремити основні характеристики модулів та визначити їх взаємозв'язок у процесі функціонування ОМ та вплив на основні якісні показники його експлуатації.

Викладення основного матеріалу. Розглядаючи технічну систему (ТС) ОМ та враховуючи сучасні підходи до проектування відповідних механізмів, можна виділити певні функціональні елементи та взаємозв'язки між ними. При цьому з функціональної точки зору виділяються три основні елементи: 1) елемент розподілення енергетичних потоків (розподільчий S); елемент передачі енергії (трансмісійний T) та пружний (акумуляуючий A) (рис. 1) [4, 8].

Як приклад обмежувального механізму розглянемо структурну побудову муфт «SIKUMAT SN» (RINGSPANN GmbH), «EAS-NC» (Maier), «RUFLEX» (KTR), «SYNTEX-NC» (KTR) (рис. 2) [5–8]. Принцип дії такого ОМ можна описати таким чином (рис. 1). Енергія від приводу M_{in} через потік F_1 передається до розподільчого модуля S . Потім через потік F_2 енергія передається до трансмісійного модуля T . Далі присутні два енергетичні потоки F_3 та F_4 відповідно до акумуляуючого модуля A та у зовнішнє середовище M_{out} . (рис. 2). При цьому присутні також відповідні зворотні енергетичні потоки F_{136} , F_{236} , F_{336} , F_{436} . Зворотній процес передачі енергії є наслідком наявності опорних силових факторів (сил тертя, інерції, номінальних навантажень тощо).

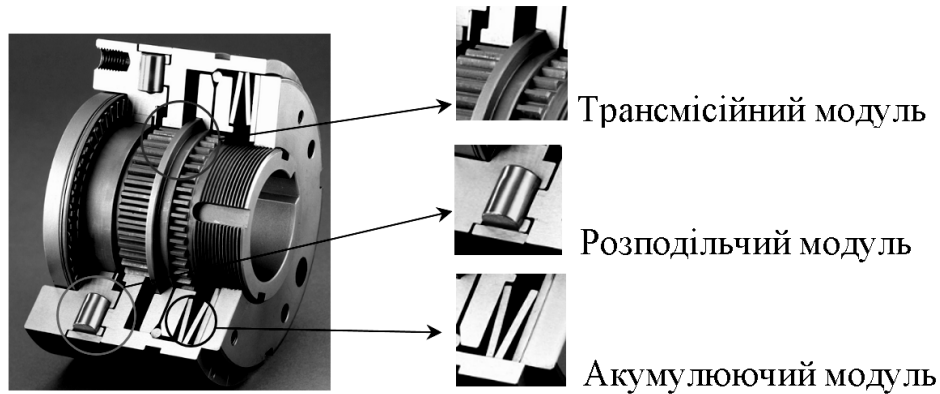


Рис. 1. Конструкція основних модулів ОМ на прикладі роликівної запобіжної муфти «SIKUMAT SN» німецької фірми RINGSPANN GmbH [8]

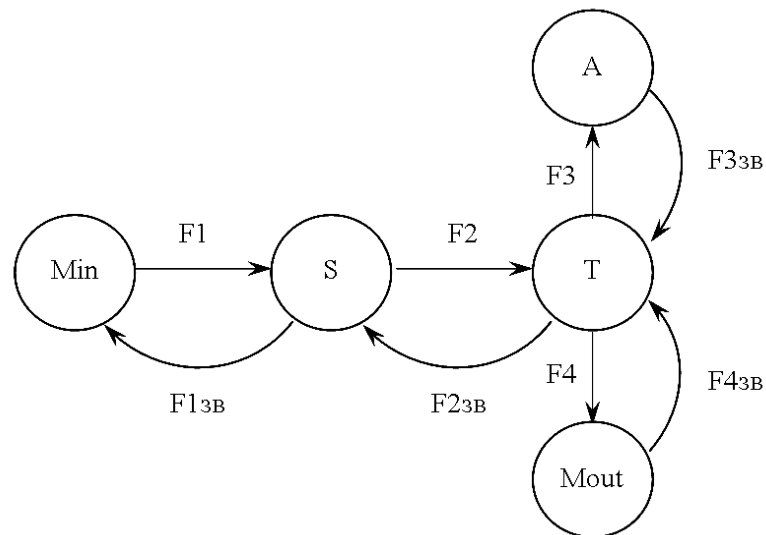


Рис. 2. Узагальнена структурна модель обмежувального механізму (муфта вільного ходу)

Розглянемо більш детально основні характеристики кожного з модулів ОМ. Послідовність модульної ієрархії базується на структурі передачі та розподіленні енергії: після розподілення енергії на першому етапі кількість відібраної поглинаючим модулем і кількість переданої корисної у механічну систему перш за все залежить від трансмісійного другого модуля.

Розподільчий модуль S розміщується на першому рівні в архітектурі модульної ієрархії ОМ. Головним завданням (функцією) даного модуля є якомога точніший розподіл енергії на корисну і надлишкову та ефективна її передача. Відповідно основними елементами даного модуля є робочі поверхні робочих елементів (кулачків, кульок тощо) та їх характеристики (форма поверхні, кут підйому робочої поверхні α , коефіцієнт тертя f_1) (табл. 1).

Трансмісійний модуль T служить для передачі двох видів енергії (корисної та надлишкової) у визначених напрямках: корисну – у кінематичний ланцюг механічної системи, надлишкову – в акумулюючий елемент. При цьому його основними характеристиками, аналогічно до попереднього модуля, є характеристики зовнішнього шару робочих поверхонь (шліців, напрямних тощо), до яких належить коефіцієнт тертя f_2 .

Акумулюючий модуль A служить для забезпечення системи номінальною енергією та поглинання надлишкової. Оскільки переважно основним елементом даного модуля є пружний елемент (пружина, повітряна подушка тощо), то основною характеристикою даного модуля є жорсткість даного пружного елемента.

Таблиця 1

Основні характеристики модулів ОМ

Назва модуля	Основна функція	Елементи	Характеристики та основні залежності	
Розподільчий модуль S	Розподіл енергії	Робочі поверхні робочих елементів (кулачків, кульок тощо)	Форма та кут підйому робочих поверхонь	Кут підйому робочої поверхні α : $\cos \alpha = \frac{h_k}{l_k}$, де h_k – висота кулачка у запобіжній муфті; l_k – довжина робочої поверхні кулачка. Коефіцієнт тертя f_{11} між робочими поверхнями робочих елементів
Трансмісійний модуль T	Передача енергії	Робочі поверхні робочих елементів (шліців, напрямних тощо)	Характеристика зовнішнього шару робочої поверхні та їх взаємодія (тут також може бути присутній кут підйому)	Коефіцієнт тертя f_{12} між робочими поверхнями робочих елементів
Акумуляуючий модуль A	Акумуляування та віддача енергії	Пружний елемент (пружина, повітряна подушка тощо)	Жорсткість пружного елемента	Жорсткість тарілчастої пружини без опорної площини: $c = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{s^3}{YD_1^2} \cdot \left(\left(\frac{s_3}{t} \right)^2 - 3 \frac{s_3}{t} \cdot \frac{s}{t} + \frac{3}{2} \left(\frac{s}{t} \right)^2 + 1 \right)$ де μ – коефіцієнт Пуассона (0,3); s – деформація пружини; s_3 – максимальна деформація пружини; E – модуль пружності; t – товщина пружини; Y – розрахунковий коефіцієнт

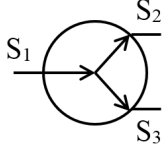
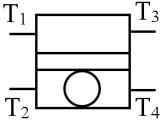
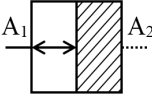
Для спрощення побудови конструкційних схем ОМ позначаємо кожен із зазначених модулів відповідним позначенням, вказуючи наявні канали передачі енергії (табл. 2). Кожен із модулів ОМ характеризується певними параметрами, що визначають його експлуатаційні показники. Так для розподільчого модуля основним критерієм є якість розподілу енергетичного потоку, для трансмісійного – якість передачі енергії, і для акумуляуючого – якість накопичення та віддачі енергії.

Синтез ТС базується на можливих варіантах перебору конструкцій, що утворюються в процесі оптимізації взаємозв'язків їх елементів за певними критеріями. Верифікація теорії модульної побудови ОМ та формування основних підходів до синтезу нових ОМ може бути проведено шляхом аналізу взаємозв'язків елементів ТС ОМ на прикладі найбільш відомих і ефективних на сьогоднішній день конструкцій (табл. 2).

Таблиця 2

Основні характеристики розподілу основних енергетичних потоків модулів ОМ

Назва модуля	Умовне позначення	Основний якісний показник	Основні залежності
--------------	-------------------	---------------------------	--------------------

Розподільчий (розподільчо- трансмійсійний)		Якість розподілу енергетичного потоку (Q_{M1})	<p>S_1 – вхід розподільчого модуля, у більшості випадків характеризується енергетичним потоком, спрямованим від зовнішнього середовища ТС ОМ: $S_1 = F_{in} x$, де F_{in} – зовнішня сила, що надходить до ОМ, x – величина переміщення відповідних робочих елементів. S_2 – вихід надлишкової енергії розподільчого модуля та вхід номінальної (переважно від акумулюючого модуля, в багатьох випадках через трансмісійний модуль): $S_2 = F_{Exs} x$. S_3 – вихід корисної енергії розподільчого модуля: $S_3 = F_{Usf} x$</p>
Трансмійсійний		Якість передачі енергії (Q_{M2})	<p>T_1 – вхід трансмісійного модуля, у більшості випадків характеризується енергетичним потоком надлишкової енергії, спрямованим від розподільчого модуля ОМ: $T_1 = S_2 = F_{Exs} x$, T_2 – вхід трансмісійного модуля, у більшості випадків характеризується енергетичним потоком корисної енергії, спрямованим від розподільчого модуля ОМ: $T_2 = S_3 = F_{Usf} x$, T_3 – вихід надлишкової енергії трансмісійного модуля та вхід номінальної (переважно з акумулюючого модуля): $T_3 = (F_{Exs} - F_{TrLos1} - F_{Akm}) x$, де F_{TrLos1} – втрати надлишкової сили в трансмісійному модулі; F_{Akm} – зусилля від акумулюючого модуля. T_4 – вихід корисної енергії трансмісійного модуля: $T_4 = (F_{Usf} - F_{TrLos2}) x$, де F_{TrLos2} – втрати корисної сили в трансмісійному модулі</p>
Акумулюючий		Якість накопичення та віддачі енергії (Q_{M3})	<p>A_1 – вхід/вихід акумулюючого модуля, у більшості випадків характеризується енергетичним потоком надлишкової та номінальної енергії: $A_1 = T_3 - T_{AkLos} + T_{AkNom} \pm T_{Ak2}$, де T_{AkLos} – енергетичні втрати в акумулюючому модулі; T_{AkNom} – номінальна енергія акумулюючого модуля; T_{Ak2} – надходження/відтік енергії від приєднаних акумулюючих модулів. A_2 – додатковий вхід/вихід номінальної та надлишкової енергії, що використовується для задання номінального енергії роботи ОМ та наявний при двобічній дії на акумулюючий модуль</p>

Для оптимізації досліджуваного ОМ і аналогічних механізмів з точки зору їх модульного проектування необхідно дослідити певну визначену сукупність зовнішніх та внутрішніх зв'язків основних елементів, що задається системою:

$$\begin{cases} R_{out} = S_{Rout} \cup T_{Rout} \cup A_{Rout} \\ R_{in} = S_{Rin} \cup T_{Rin} \cup A_{Rin} \end{cases}, \quad (1)$$

де S_{Rout} , T_{Rout} , A_{Rout} – взаємодії відповідно розподільчого, трансмісійного та акумулюючого модулів в ТС ОМ;

S_{Rin} , T_{Rin} , A_{Rin} – взаємодії внутрішніх елементів відповідно розподільчого, трансмісійного та акумулюючого модулів в ТС ОМ.

Розглядаючи на прикладі класичного обмежувального механізму конструкцію та принцип дії роликів запобіжної муфти «SIKUMAT SN» фірми RINGSPANN GmbH (рис. 2), можна спостерігати наявність класичної структури відповідних елементів, а саме розподільчого S , трансмісійного T та акумулюючого A модулів. Із структурної схеми модульної побудови кожен зі згаданих елементів

технічної системи на прикладі запобіжної муфти «SIKUMAT SN» характеризується взаємозв'язками його основних елементів:

$$M_{in} \leftrightarrow S_1-S_2 \leftrightarrow T_1-T_3 \leftrightarrow A_1-A_2; \quad (2)$$

$$M_{in} \leftrightarrow S_1-S_3 \leftrightarrow T_2-T_4 \leftrightarrow M_{out},$$

де M_{in} , M_{out} – відповідно вхід та вихід ТС ОМ.

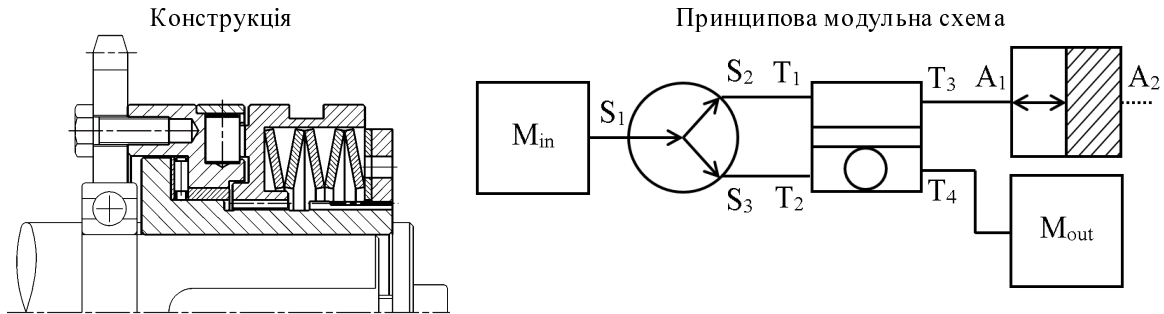


Рис. 3. Конструкція та принципова модульна схема ОМ у вигляді роликової запобіжної муфти «SIKUMAT SN» (RINGSPANN GmbH)

Відповідно до запропонованого підходу модульної побудови ОМ та взаємозв'язків елементів загальної характеристику якості ОМ можна подати у вигляді:

$$Q = \begin{cases} Q_{M1} \\ Q_{M2} \\ Q_{M3} \end{cases}. \quad (3)$$

При цьому якість відповідних модулів визначатимуться із систем взаємопов'язаних елементів:

- для розподільчого модуля:

$$Q_{M1} = \begin{cases} S_1 = F_{in} \cdot x \\ S_2 = F_{Exs} \cdot x, \\ S_3 = F_{U_{sf}} \cdot x \end{cases}, \quad (4)$$

- для трансмісійного модуля:

$$Q_{M2} = \begin{cases} T_1 = S_2 = F_{Exs} \cdot x \\ T_2 = S_3 = F_{U_{sf}} \cdot x \\ T_3 = (F_{Exs} - F_{TrLos1} - F_{Akm}) \cdot x, \\ T_4 = (F_{U_{sf}} - F_{TrLos2}) \cdot x \end{cases}, \quad (5)$$

- для акумулюючого модуля:

$$Q_{M3} = \begin{cases} A_1 = T_3 - T_{AkLos} + T_{AkNom} \\ A_2 = T_{Ak2} \end{cases}. \quad (6)$$

На основі представленого підходу до створення нових структур обмежувальних механізмів запропоновані перспективні конструкції обмежувальних механізмів у вигляді муфт, запобіжних патронів, металорізальних головок і комбінованих інструментів, які забезпечують високі техніко-технологічні показники як у процесі конструювання, так і під час експлуатації зазначених ОМ.

Висновки. На базі розподілу обмежувальних механізмів за функціональним принципом на окремі модулі (розподільчий, трансмісійний та акумулюючий) виведено основні принципи для визначення їх структурно-модульної ієрархії. Такий підхід дозволяє на базі оптимізації внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків окремих модулів отримати нові варіанти високоефективних конструкцій обмежувальних механізмів за заданими якісними характеристиками.

Список використаної літератури:

1. Управление качеством на промышленном предприятии / Д.В. Бастрыкин, А.И. Евсейчев, Е.В. Нижегородов и др. ; под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. Б.И. Герасимова. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 204 с.

2. Кіндрацький Б.І. Рациональне проектування машинобудівних конструкцій : монографія / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим. – Львів : КІНТАПРІ ЛТД, 2003. – 280 с.
3. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем / Ю.М. Кузнецов, Ю.К. Новосьолов, І.В. Луців. – Севастополь : СевНТУ, 2011. – 246 с.
4. Луців І.В. Основні підходи до модульної побудови обмежувальних механізмів. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві : зб. наук. пр. / І.В. Луців, І.І. Брошчак. – Вип. 2 (7). – О. : Наука і техніка, 2014. – С. 143–149.
5. KTR Kupplungstechnik GmbH. SYNTEX NC Product catalog [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ktr.com/en/products/torquelimiters/syntex/5992_syntex_nc.htm, accessed on August 2014.
6. Mayr Transmissions Ltd. EAS-Compact, Backlash-free Torque Limiting [Електронний ресурс]. – Режим доступу : Clutches http://www.mayr.com/fileadmin/user_upload/Dokumentationen/englisch/EAS-compact/EAS-compact_general_catalogue.pdf, accessed on August 2014.
7. R+W Antriebsselemente GmbH. Torque Limiters series SK+ES [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.rwcouplings.com/catalogs_downloads/catalogs_pdf/pdf/SK_torque-limiters.pdf, accessed on August 2014.
8. RINGSPANN GmbH. Catalogues Overload Clutches [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ringspann.de/en/Download/Catalogues/Catalogues-Group_849/, accessed on August 2014.

ЛУЦІВ Ігор Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– конструювання верстатів, інструментів та машин.

БРОЩАК Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– обмежувальні механізми машин.

Тел.: (063)43–611–73.

E-mail: i.broshchak@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 14.10.2014