

УДК 62-278

Ю. О. ЦИБРІЙ<sup>1</sup>, Г. Г. ГРАБОВСЬКИЙ<sup>2</sup>, П. Л. НОСКО<sup>1</sup>, О. В. БАШТА<sup>1</sup>,  
С. В. ФЕДОРЧУК<sup>1</sup>, О. В. ГЕРАСИМОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Україна

<sup>2</sup>Державна науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»,  
Україна

## ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕМБРАННИХ ПРИВОДІВ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

На основі аналізу проведеного чисельного моделювання напружено-деформованого стану сталеві мембрани гідравлічного мембранного механізму запропонована інженерна методика вибору раціональних геометричних параметрів гідравлічних мембранних приводів з урахуванням заданого ресурсу спрацювань.

**Ключові слова:** гідравлічний мембранний механізм, інженерна методика, раціональні геометричні параметри, напружено-деформований стан, чисельне моделювання.

**Вступ.** До прецизійних високопотужних приводів машинобудування, чорної та кольорової металургії відносяться гідравлічні мембранні приводи (ГММ) (рис. 1). Такі приводи використовуються в мехатронних системах керування переміщенням валків прокатних станів, затискних пристроїв та подачею коливань на зливки при його витягуванні при виплавці методами спеціальної металургії [1; 2].

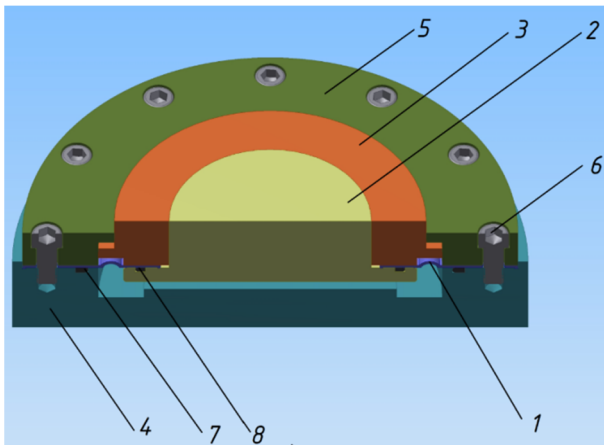


Рис. 1. Конструкція ГММ в розрізі: 1 – мембрана; 2 – пунжер; 3 – втулка; 4 – корпус; 5 – кришка; 6 – болти; 7, 8 – ущільнення

Широке застосування подібних пристроїв обмежується складністю проектування та розрахунку на втомну міцність їх деталей, особливо сталевих мембран. Як свідчить досвід експлуатації, для ГММ найбільш підверженою руйнуванню деталлю є мембрана, оскільки вона постійно працює під тиском робочої рідини та перебуває в деформованому стані, а ресурс спрацювання ГММ визначається саме ресурсом спрацювання мембран.

В попередній роботі авторів роботи [3] було проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану (НДС) мембрани ГММ при його роботі в якості приводу витягування зливку з кристалізатора з подачею на нього додаткових коливань за заданим законом. Проаналізувавши результати моделювання було встановлено діапазон геометричних параметрів мембрани, при яких максимальне напруження менше допустимого для матеріалу мембрани для заданої кількості циклів спрацювань при відносній деформації  $\varepsilon = 2\%$ . Однак, вищезгаданий розрахунок НДС мембрани проводився для матеріалу Сталь 12Х18Н10ТГОСТ 5949-75, яка має високу межу текучості, ударну в'язкість та пластичність, що забезпечує високий ресурс роботи ГММ. Крім того умови роботи ГММ в якості приводу подачі коливань на зливок суттєво відрізняється від умов роботи ГММ в якості приводів переміщенням валків прокатних станів. Тому є доцільним узагальнити та алгоритмізувати вибір раціональних геометричних параметрів ГММ.

**Метою** даного дослідження є розробка інженерної методики вибору раціональних геометричних параметрів ГММ мехатронних систем на основі дослідження НДС, для забезпечення заданого ресурсу спрацювань.

**Основна частина.** Згідно запропонованої інженерної методики (рис. 2) на першій стадії вибору раціональних значень геометричних параметрів мембрани необхідно визначити умови роботи мембрани, характеристики мембранного механізму, а саме:

- амплітуду коливання  $A_M$  жорсткого центру мембранного механізму;
- навантаження, яке повинен долати привод  $F_M$ ;
- частоту спрацювань  $\gamma$ ;
- ресурс роботи приводу ГММ та кількість коливань мембрани  $N$ .

Характеристики ГММ визначають вибір типових геометричних параметри мембрани  $G_M$ , зміна яких може вплинути на її НДС (рис. 3). Для випадку мембрани ГМВМ такими геометричними параметрами є:

- $R$  – радіус дуги гофри мембрани;
- $r_{CM}$  – радіус спряження дуги мембрани з площиною мембрани;
- $s_M$  – товщина мембрани;
- $D_M$  – відстань від осі мембрани до центра дуги мембрани.

На вибір діапазону зміни геометричних параметрів мембрани впливає також спосіб та місце його монтажу в промислових установках.

При виборі матеріалу мембрани необхідно враховувати його модуль Юнга  $E_M$ . Для забезпечення довготривалої роботи мембрани її матеріал повинен бути пластичним, з модулем Юнга менше  $1.98 \cdot 10^5$  МПа. При цьому матеріал повинен забезпечувати умову міцності мембрани при дії тиску робочої рідини на неї. До таких матеріалів можна віднести аустенітні сталі з легуючими домішками нікелю та титану.

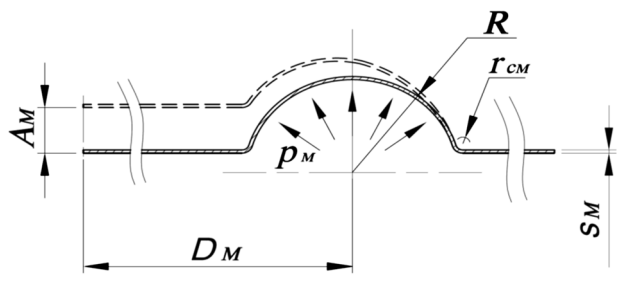


Рис. 3. Принципова схема роботи мембрани

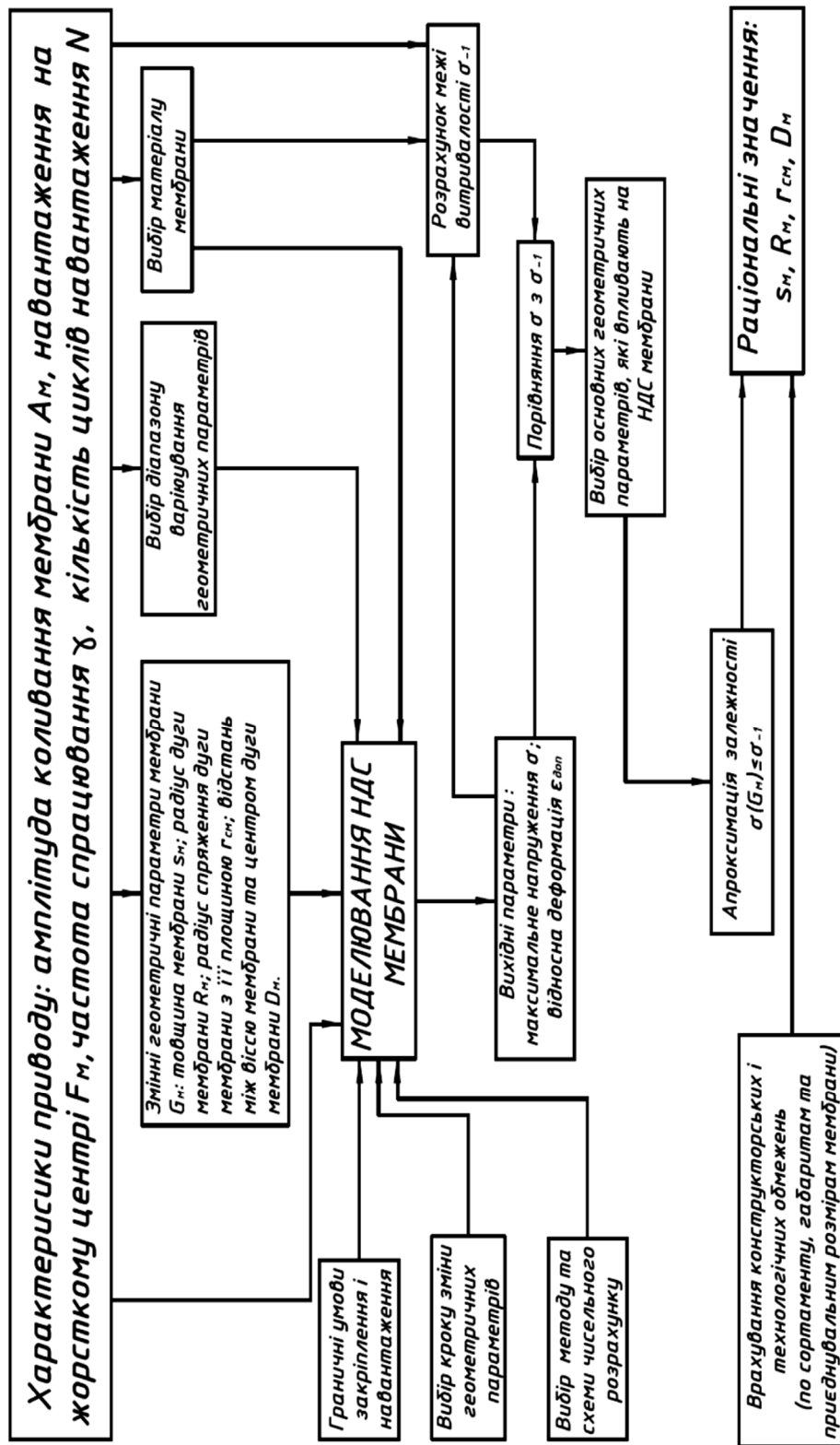


Рис. 2. Інженерна методика вибору раціональних значень геометричних параметрів ГММ

Після вибору фізичних та геометричних параметрів мембрани необхідно задати її розрахункову та кінематичну схему з усіма закріпленнями та обмеженнями ступенями вільності певних її зон.

Важливим є вибір кроку зміни геометричних параметрів мембрани для забезпечення необхідної точності розрахунку, оскільки зменшення кроку підвищує точність отриманої в кінці апроксимаційної залежності, але при цьому зростає кількість розрахунків.

В залежності від необхідної точності та швидкості розрахунку вибирається чисельний метод розрахунку, схема чисельного розрахунку, тип елементів, програмний пакет для розрахунку (Ansys, COMSOL Multiphysics, Femap, Nastran, MATLAB і т.д.), кількість ітерацій і т.д..

Після вибору вищевказаних значень проводиться безпосередньо ряд чисельних моделювань зі зміною геометричних параметрів у заданому діапазоні, в результаті якого отримуються вихідні параметри моделювання НДС мембрани.

Необхідними вихідними параметрами моделювання є максимальне напруження  $\sigma$  та максимальна відносна деформація  $\varepsilon_m$ . Використовуючи криві Веллера для вибраного матеріалу мембрани та вихідні параметри моделювання НДС паралельно з моделюванням НДС мембрани визначається межа витривалості матеріалу  $\sigma_{-1}$  для заданих значень  $\varepsilon_m$  та  $N$ .

Після визначення  $\sigma_{-1}$ , отримане значення порівнюється з максимальними напруженнями для різних геометричних параметрів мембрани  $\sigma$ . Визначаються геометричні параметри, які суттєво впливають на НДС мембрани.

Для комбінацій геометричних параметрів, які задовольняють умову  $\sigma \leq \sigma_{-1}$  проводиться апроксимація з використанням відомих методів (метод найменших квадратів, апроксимація сплайнами і т.д.), в результаті якої отримується залежність типу  $\sigma(G_m) \leq \sigma_{-1}$ , яка описує діапазон геометричних параметрів мембрани, при яких мембрана відпрацює задану кількість циклів навантаження  $N$ .

На останньому етапі розрахунку, при виборі раціональних геометричних параметрів мембрани  $G_m$  окрім результатів розрахунку на втомну міцність необхідно також враховувати конструктивні та технологічні обмеження, які накладаються на мембрану та мембранний механізм, а саме:

- наявність відповідного сортаменту матеріалу мембрани;
- приєднувальні розміри ГММ;
- габаритні розміри ГММ.

**Висновок.** В результаті проведеного дослідження запропонована інженерна методика вибору раціональних геометричних параметрів гідравлічних мембранних механізмів мехатронних систем керування для забезпечення високоточних переміщень під навантаженням, яка враховує НДС ГММ та ресурс його спрацювання.

#### Список літератури

1. Грабовский Г. Г. ИАСУ толстолистовыми прокатными станами. – К.: Техніка, 2001. – 448 с.
2. Грабовський Г.Г. Система керування витягуванням титанового зливку з кристалізатора при електронно-променевої плавці / Г.Г. Грабовський, Ю.О. Цибрій // Промислова гідравліка та пневматика. – 2013. – № 2 (40). – С.5 – 10.
3. Цибрій Ю.О. Аналіз напружено-деформованого стану мембрани гідравлічного мембранного механізму приводу витягування з зливку кристалізатора / Ю. О. Цибрій, Г. Г. Грабовський, П. Л. Носко. // Проблеми тертя та зношування. – 2017. – №3. – С. 108 – 114.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2018.

TSYBRII Yu.O., GRABOVSKIY H.H., NOSKO P.L., BASHTA O.V., FEDORCHUK S.V., GERASIMOVA O.V.

### ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF HYDRAULIC MEMBRANE MECHANISM OF INGOT'S PULLING-OUT DRIVE FROM CRYSTALLIZER

The problem of providing the required work resource of hydraulic membrane mechanisms, which are used for precise small displacements under load in mechatronic systems of rolling mills and oscillation mechanisms are considered. The most loaded and deformed element of the hydraulic membrane mechanism, which determines its work resource is steel membrane. The analysis of the numerical simulation results of the steel membrane's stress-strain state at various values of its geometric parameters was carried out. On the basis of the obtained results analysis the engineering technic of rational geometrical parameters choice of the hydraulic membrane mechanism's steel membrane is proposed. According to the proposed engineering technic, the conditions of the hydraulic membrane mechanism's work and its characteristics (load, operating speed, oscillation frequency and etc.) must be determined primary; the desired resource must be given. At the next stage, taking into consideration the operational experience, the geometric parameters of the membrane, which significantly affect its stress-strain state, material of the membrane and its work resource have to be chosen. At the stage of mathematical modeling preparation, boundary and initial conditions, numerical method and software for calculation should be selected. After simulation, an analysis of the obtained results according to the maximum stress and relative deformation should be performed. For combinations of geometric parameters values which satisfy the requirements of the work resource, an approximation must be carried out by the chosen method to obtain the dependence of the membranes maximum stress and its geometric parameters. At the final stage of calculation, during the choice of the membrane's rational geometric parameters it is also necessary to consider the design and technological constraints (the presence of the required membrane material sheet metal gauge, the connecting and overall dimensions of the hydraulic membrane mechanism). The proposed engineering technic of rational geometrical parameters choice of the hydraulic membrane mechanism's steel membrane of mechatronic systems provides high-precision displacement under load and takes into account the stress-strain state of the hydraulic membrane mechanism and its work resource.

**Key words:** hydraulic membrane mechanism, engineering methodic, rational geometric parameters, stress-strain state, numerical simulation.

#### References

1. Grabovskij G. G. IASU tololistovymi prokatnymi stanami. – K.: Tehnika, 2001. – 448 s.
2. Grabovs'kyj G.G. Systema keruvannya vy'tyaguvannyam ty'tanovogo zly'vku z kry'stalizatora pry`elektronno-promenevij plavci / G.G. Grabovs'kyj, Yu.O. Cy'brij // Promy'slova gidravlika ta pnevmaty'ka. – 2013. – # 2 (40). – S.5 – 10.
3. Tsybrii Yu.O., Analiz napruzhenno-deformovanogo stanu membrany` gidravlichnogo membrannogo mexanizmu pry`vodu vy'tyaguvannya z zly'vku kry'stalizatora / Tsybrii Yu.O., G. G. Grabovs'kyj, P. L. Nosko. // Problemy` tertya ta znoshuvannya. – 2017. – #3. – S. 108 – 114.

**Цибрій Юрій Олександрович** – к.т.н., асистент кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна.

**Грабовський Георгій Геннадійович** – д.т.н., професор, заступник директора Державної науково-виробничої корпорації «Київський інститут автоматики» з наукової роботи, м. Київ, Україна.

**Носко Павло Леонідович** – д.т.н., професор, професор кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна.

**Башта Олександр Васильович** – к.т.н., доц., доцент кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна.

**Федорчук Світлана Володимирівна** – старший викладач кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.

**Герасимова Ольга Вячеславівна** – аспірантка кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.