

$$q(x) = \frac{EI}{r} \cdot \frac{1}{b^2} \cdot \frac{ch\left(\frac{x}{b}\right)}{ch\left(\frac{l}{b}\right)}; \quad M(x) = \frac{EI}{r} \left( 1 - \frac{ch\left(\frac{x}{b}\right)}{ch\left(\frac{l}{b}\right)} \right), \quad Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = -\frac{EI}{r \cdot b} \cdot \frac{sh\left(\frac{x}{b}\right)}{ch\left(\frac{l}{b}\right)}, \quad \text{де } b = \sqrt{\frac{EI}{GAk}}.$$

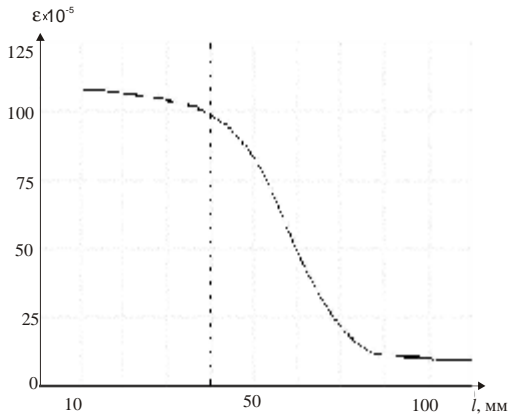


Рис. 1. Експериментальні значення поздовжньої деформації зовнішнього волокна полотна стрічкової пилки під час згину на пилковому шківі

Поперечний згин ділянки полотна пилки на пилковому шківі верстату досліджений експериментально з використанням методу тензометрії. Стрічкова пилка, товщина якої  $h = 0,9$  мм, ширина полотна  $b = 25,6$  мм, розміщена на двох шківих з радіусами  $r = 0,4$  м. Переміщаючи пилку обертанням шківів, досліджували закон зміни деформацій в місцях переходу прямолінійної ділянки в криволінійну під час входження пилки на шків. Отриманий графік зміни поздовжньої відносної деформації зовнішнього волокна полотна пилки показаний на рис. 1. Як видно з графіка, при переході прямолінійної ділянки у криволінійну на довжині приблизно 90 мм від точки переходу, деформації зростають нелінійно. Очевидно, це зумовлено тим, що полотно стрічкової пилки з жорсткістю на згин  $EI$ , у місцях переходу до криволінійної ділянки має змінний радіус кривизни  $r(x) > r$ .

## АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗАПІРНО-ВРІВНОВАЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ РОТОРА БАГАТОСТУПІНЧАТОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ДЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО РЕЖИМУ РУХУ РІДИНИ

### DYNAMIC ANALYSIS OF THE LOCKING AUTOMATIC ROTOR-BALANCING DEVICE OF THE MULTISTAGE CENTRIFUGAL PUMP FOR A TURBULENT FLUID MOTION

Іван Павленко

Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна, e-mail: [pavlenko@omdm.sumdu.edu.ua](mailto:pavlenko@omdm.sumdu.edu.ua)

*In this paper describes a method of dynamic analysis of the locking automatic rotor-balancing device of the multistage centrifugal pump created by non-linear mathematical model. This model determines the axial movement of the rotor and the leakage through hydraulic throttles. For the nonlinear analysis of axial oscillations applied the method of Bulirsch-Stoer. Dynamic stability of the system was investigated by criteria of Stodola and Hurwitz.*

Для врівноважування осьових сил, що діють на ротор багатоступінчатих відцентрових машин, застосовуються як розвантажувальні поршні так і автоматичні системи осьового врівноваження. При застосуванні розвантажувального поршня витіки робочої рідини обмежуються різними типами кінцевих ущільнень, наявність яких разом з упорними підшипниками призводять до ускладнення системи осьового врівноваження ротора, зменшення її надійності і зниження економічності.

Запропоновано використання принципово нової конструкції автоматичної системи осьового врівноваження – запірно-врівноважуючого пристрою ротора відцентрового насоса. Цей пристрій працює подібно радіально-упорному гідростатичному підшипнику з високим граничним навантаженням і, одночасно з цим, як безконтактне ущільнення з саморегульованим зазором і витратами. Для забезпечення незмінної різниці тиску запірного і робочого середовищ використовується регулятор перепаду тиску.

На прикладі східчатого відцентрового насоса ПЭ 600-300 наведена методика динамічного розрахунку автоматичної системи осьового врівноваження ротора з системою подачі запірною середовища на основі створеної нелінійної математичної моделі, яка визначає осьовий рух ротора і витрати через елементи гідравлічного тракту. Для аналізу осьових коливань ротора із запірно-врівноважуючим пристроєм застосовані методи нелінійного аналізу, а також метод лінеаризації системи нелінійних диференціальних рівнянь восьмого порядку.

Амплітудні частотні характеристики отримані у результаті визначення компонентів вектора частотних передатних функцій, перехідні характеристики – за допомогою методу Булірша-Штера. За критеріями Стодоли і Гурвіца визначені умови динамічної стійкості системи «ротор – врівноважуючий пристрій» із застосуванням прийому, що дозволяє понизити степінь характеристичного полінома.

Результати динамічного розрахунку запірно-врівноважуючого пристрою отримані із застосуванням методики, що враховує турбулентний режим руху рідини і дозволяє визначати амплітудні частотні, фазові частотні та перехідні характеристики. Запірно-врівноважуючий пристрій ротора відцентрового насоса статично стійкий у заданому діапазоні зміни робочих параметрів, а також динамічно стійкий за умови непроникнення робочого середовища у камеру до розвантажувального диска, що розширює діапазон зміни параметрів порівняно з системами осьового врівноваження традиційного виконання. Результати роботи можуть бути застосовані для проектних розрахунків запірно-врівноважуючих пристроїв роторів багатоступінчатих відцентрових насосів високих подач і тисків.

## МІЦНІСТЬ ЗАМКОВОГО З'ЄДНАННЯ ГРУПИ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВОЇ ТУРБИНИ

### THE STRENGTH OF THE LOCK JOINT OF A NUMBER OF THE OPERATING BLADES OF THE STEAM TURBINE

Ігор Пальков

ВАТ «Турбоатом»,  
проспект Московський, 199, м. Харків, 61000, Україна,  
e-mail: [office@turboatom.com.ua](mailto:office@turboatom.com.ua)

*The solution of the problem of the stress-strain state of the lock joint of a number of the operating blades of the steam turbine in an elastic formulation is presented. Also, the results of research in the form of the field of the stress, strain and contact pressure at the reference sites of the lock joint are presented.*

При експлуатації турбіни К-500-240, в районі хвостового з'єднання диска з'являлася тріщина, що призводило до руйнування замкового з'єднання робочих лопаток.

У даній роботі проводиться дослідження напружено-деформованого стану замкового з'єднання робочих лопаток з диском, вивчення та аналіз картини контактної взаємодії елементів з'єднання. При цьому використовувався МСЕ, завдання вирішувалося в тривимірній постановці. Розглядалася контактна взаємодія з метою аналізу напружень в області замкової лопатки і хвостовика (де спостерігалася руйнування).



Рис. 1. Руйнування обода диска РСД турбіни К-500-240 в районі замкової лопатки