

УДК 678.5

І.Т. Ярема, канд. техн. наук, с.н.с.; Ю.І. Наконечний

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЕРА ПЛАСТМАСОВОЇ ЛОПАТКИ ПУСКОВОГО ТУРБОДЕТАНДЕРА

I. Yarema, Ph., Assoc. Prof.; Yu. Nakonetchnj

STRESS-STRAIN STATE CALCULATION OF PEN PLASTIC BLADE OF TURBINE EXPANDER LAUNCHERS

Науково-дослідною лабораторією по застосуванню пластмас в газотранспортному обладнанні ТНТУ ім. Івана Пулюя розроблена конструкція, спроектована технологічна оснастка та виготовлені і випробувані в експлуатаційних умовах пластмасові лопатки пускових турбодетандерів газотурбінних установок ГТ-700-5. Лопатки виготовлені методом лиття під тиском із склонаповненого поліаміду марки ПА-66-КС. Оскільки фізико-механічні характеристики пластмас суттєво відрізняються від властивостей металів, то виникає необхідність в розрахунку на міцність пластмасових лопаток.

В даній роботі приведені результати аналітичного розрахунку пера пластмасової лопатки, оснащеної бандажною поличкою. Передбачається, що полички між собою не контактують (тобто лопатки закріплені консольно). Методика розрахунку показана на прикладі пластмасової лопатки першого робочого ряду. Відомо [1], що матеріал лопатки працює на згинання та розтягування від відцентрових сил. Найпростіше визначаються нормальні напруження від відцентрових сил. Оскільки відношення висоти лопатки l до середнього радіуса R_{cp} робочого ряду $\frac{l}{R_{cp}} = \frac{19}{150} = 0,127 \ll 1$, то перо можна розглядати як зосереджену масу, що обертається на віддалі R_{cp} від осі обертання. В цьому випадку нормальна сила $N_{вц}$ в основі пера лопатки визначається по формулі

$$N_{вц} = m_{п} \cdot \omega^2 \cdot R_{cp},$$

де $m_{п}$ – маса пера пластмасової лопатки разом з бандажною поличкою, ω - кутова швидкість ротора турбодетандера. Нормальні напруження від $N_{вц}$ в основі пера лопатки, що має площу поперечного перерізу F , розраховуються по формулі

$$\sigma_p = \frac{N_{вц}}{F}.$$

Результати розрахунку напружень в основі пера лопатки першого робочого ряду в залежності від числа обертів турбодетандера наведені в табл.1.

Таблиця 1.

n, об/хв	1000	3000	6000	9000
σ_p , МПа	0,048	0,430	1,720	3,871

При визначенні напружень від згинального моменту приймемо постійність осьової складової швидкості потоку газу перед і за робочою лопаткою. Тоді згинальний момент в основі пера лопатки буде рівним [1]

$$M_{зг}^{max} = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \omega \cdot m \cdot R_{cp}}.$$

Тут P – потужність ступеня турбодетандера, n - число робочих лопаток, що знаходяться в секторі соплового апарату. Максимальні нормальні напруження від $M_{зг}^{max}$ визначаються по формулі

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{M_{зг}^{max}}{W_{yc}} = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \omega \cdot m \cdot R_{cp} \cdot W_{yc}},$$

де $W_{yc} = 29,43 \text{ мм}^2$ – осьовий момент опору поперечного перерізу пера лопатки відносно осі O_3z_3 (рис. 1). Розрахунок осьових моментів інерції та моментів опору для перерізів із складною конфігурацією є досить трудомісткою задачею і в даному розрахунку не розглядається. Для лопаток першого робочого ряду при $\omega = 942,5 \text{ с}^{-1}$ ($n = 9000 \text{ об/хв}$) нормальні напруження від згину будуть рівні

$$\sigma_{зг}^{max} = \frac{127 \cdot 10^3 \cdot 19 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 942,5 \cdot 43 \cdot 0,15 \cdot 29,43 \cdot 10^{-9}} = 6,7436.$$

Максимальні сумарні нормальні напруження в небезпечній точці основи пера лопаток

$$\sigma^{max} = \sigma_p + \sigma_{зг}^{max} = 3,871 + 6,745 = 10,615 \text{ МПа}$$

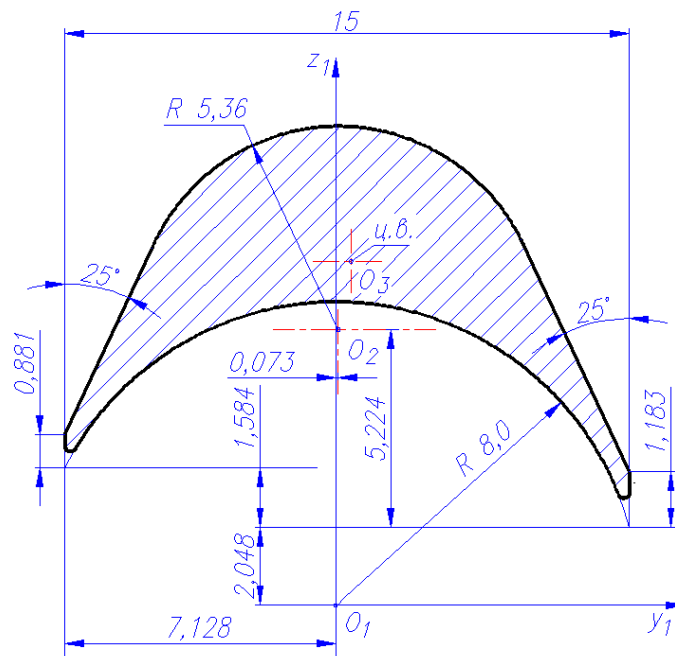


Рисунок 1 – Профіль пера пластмасової лопатки

Поскільки границя міцності для склонаповненого поліаміду ПА-66-КС рівна 90 МПа, а також враховуючи, що навантаження на лопатку в часі наростає повільно (розгін турбіни відбувається в середньому на протязі 30 хвилин), то коефіцієнт запасу міцності по границі міцності K_B можна прийняти рівним 2. Тоді допустиме напруження на сумарну дію розтягування та згинання буде рівним $[\sigma] = \frac{\sigma_B}{K_B} = \frac{90}{2} = 45 \text{ МПа}$, що більше сумарних нормальних напружень, які виникають в перерізі при основі пера лопатки. Тобто міцність пера пластмасової лопатки забезпечена.

Література:

1. Малинин, Н.Н. Прочность турбомашин. [Текст] / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1962. – 190 с.