УДК 621

Третяк О. В., докт. техн. наук, доцент
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», o.tretyak@khai.edu

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАНДАЖНОГО ВУЗЛА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Вал ротора турбогенератора складається з середньої активної частини (бочки) і двох хвостовиків (рис. 1). Лобові частини обмотки ротора підкріплюють фіксуючими кільцями, що складаються з бандажного і центруючого кілець. На бандажне кільце діють відцентрові зусилля від власної маси та від лобових частин обмотки ротора, а також зусиль, що викликані посадкою фіксуючих кілець з натягом. На номінальних режимах бандажний вузол працює в умовах помірного температурного навантаження, викликаного нагріванням обмоток.

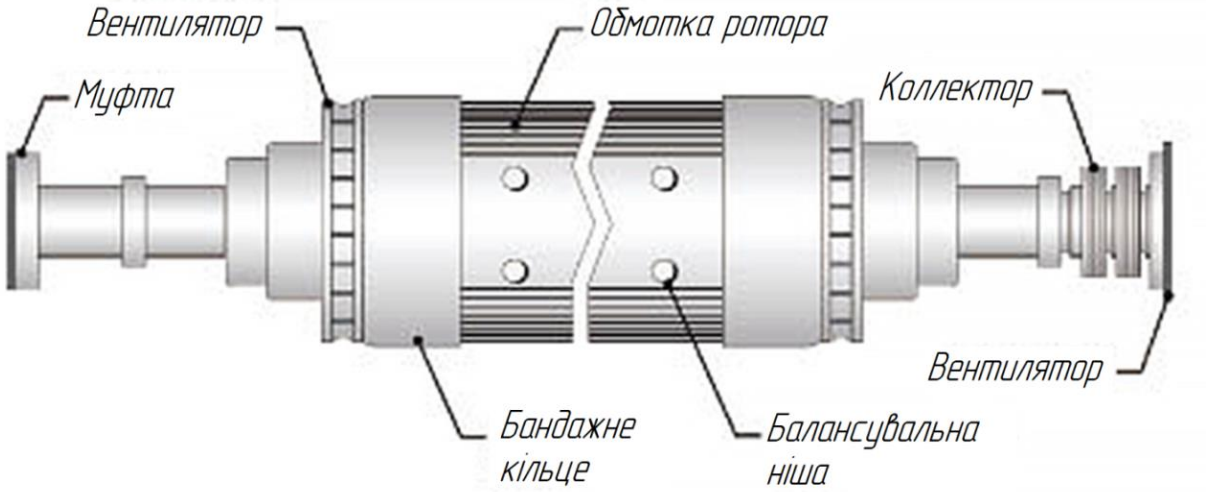


Рис. 1 – Загальний вигляд ротора генератора

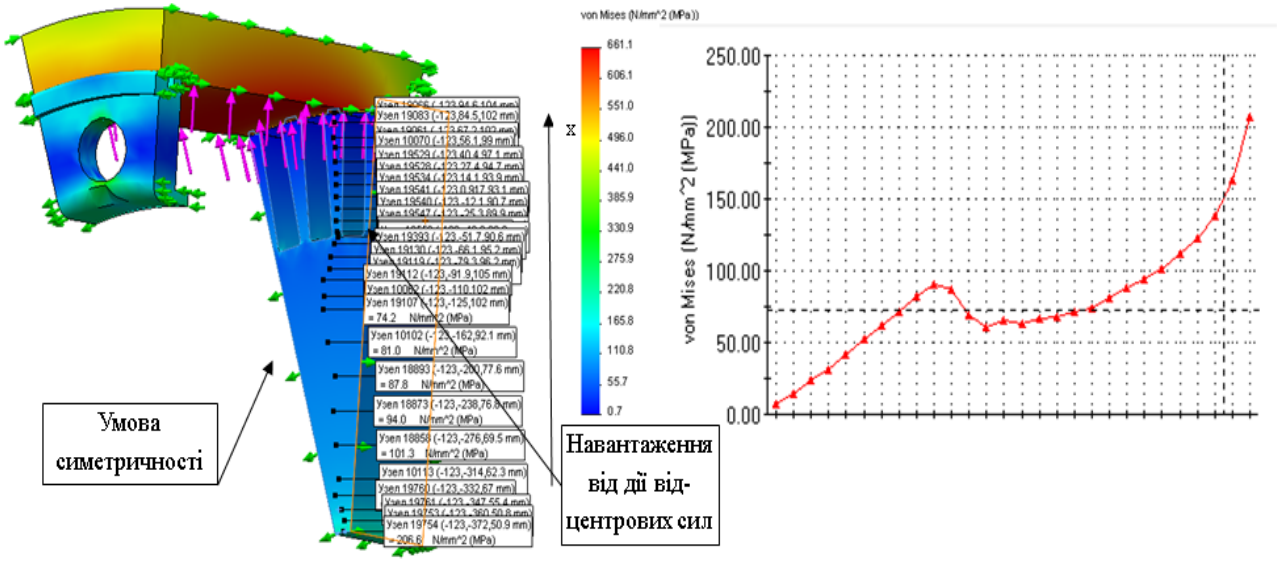
При проектуванні бандажного вузла необхідно забезпечити його надійну працездатність на всіх експлуатаційних режимах. Для цього був проведен аналіз НДС в конструкціях та оцінена їх міцність на номінальних та критичних режимах роботи машини. При цьому враховуються роз'єднувальні частоти обертання, при яких відбувається роз'єднання бандажного кільця з опорами. Маса лобових частин обмотки ротора розподілена нерівномірно щодо поздовжньої і поперечної осей ротора, тому в кільці, крім розтягуючих зусиль, виникають згинальні моменти, які прагнуть надати бандажному кільцю овальну форму.

Проведено чисельне дослідження напруженого стану бандажного вузла турбогенератора потужністю 560 МВт при впливі силових і температурних навантажень, викликаних посадочними напруженнями та експлуатаційними навантаженнями. Виконувалося дослідження міцності деталей бандажного вузла ротора в спокої і при експлуатації, визначення роз'єднувальної частоти обертання бандажного кільця, посадженого з натягом на бочку ротора і центруюче кільце, а також дослідження податливості деталей бандажного вузла.

Бандажне кільце виготовлено зі сталі з межею плинності $\sigma^{0,2}$= 900 МПа, матеріал вала ротора і центруючого кільця – високолегована сталь з $\sigma^{0,2}$ =687 МПа.

На (рис. 2, а) представлена розрахункова схема бандажного вузла, використовувані граничні умови і результуюче поле напружень від власних відцентрових сил тяжіння при угонній частоті обертання і залишкових посадочних напруженнях. Зміна напружень на бічній поверхні бочки ротора представлено на рис. 2 б. Напруження мають складний

характер з наявністю локального максимуму в області закінчення паза (вирізу) в бочці і очікуваною тенденцією до збільшення рівня напружень до ротора, вони змінюються від 0,7 МПа до 207 МПа.



а) б)

Рис. 2 – Поле напружень в бандажному вузлі (угонна частота обертання)

Середнє значення радіальних переміщень в області контакту кільця з бочкою ротора дорівнює $\Delta r_{сер}$ =1,35 10^{-3} м, а в області контакту з центруючим кільцем – $\Delta r_{сер}$ =1,15 10^{-3} м. При цьому максимальне переміщення бандажного кільця спостерігається в середній частині і так само $\Delta 1_{max}$ =1,689 10^{-3} м.

У таблиці 4 наведені результати розрахунку роз'єднувальних частот обертання. Встановлено, що роз'єднувальні частоти обертання бандажного кільця і бочки ротора, а також бандажного кільця і центруючого кільця для холодного і нагрітого стану значно відрізняються.

Таблиця 1 – Роз'єднувальні частоти бандажного вузла

Сполучені деталі бандажного вузла		Температурний стан	Частота, об/хв
1 деталь	2 деталь		
бандажне кільце	бочка ротора	холодне	3609
		нагріте	3100
бандажне кільце	центруюче кільце	холодне	4938
		нагріте	4050

З таблиці 1 видно, що найменша частота роз'єднання спостерігається в поєднанні бандажного та центруючого кілець в нагрітому стані і вона дорівнює 3100 об/хв. Це значення вище номінальної частоти обертання.

The work "Analysis of the strength of high-power Turbogenerator assembly units to ensure their reliable operation under the influence of supercritical loads to ensure the energy security of Ukraine during martial law" registration number 224/0008 from 15.11.2023 completed within the project Cambridge - NRFU 2022. Individual research (developments) grants for researchers in Ukraine (supported by the University of Cambridge, UK).