

УДК 621.313.322-81

О.Ю. ЮР'ЄВА, С.В. ПОЛОМОШНОВ, Є.В. ПОЛОМОШНОВ**КРІПЛЕННЯ ОСЕРДЯ СТАТОРА В КОРПУСАХ СУЧАСНИХ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ**

Проаналізовано та класифіковано конструкції кріплення осердя статора в корпусі турбогенераторів, що випускаються в теперішній час на світових підприємствах з турбогенераторобудування. Доведено необхідність застосування додаткових елементів в конструкції турбогенератора, а саме кріплення осердя статора в корпусі. Наведено характеристику жорсткої, еластичної та пружної підвісок. Величина одиначної потужності турбогенераторів обумовлює застосування конкретного типу кріплення осердя статора в корпусі. Особливості конструкції кріплення осердя статора в корпусі турбогенератора відрізняються в залежності від підприємства-виготовника.

Ключові слова: електромеханіка, турбогенератор, вібрація, жорстка конструкція, еластична конструкція, пружна підвіска осердя статора.

Вступ. Турбогенераторами виробляється до 85 % усієї електроенергії в світі. Турбогенератор є найскладнішою за конструкцією електричною машиною. Як і будь-яка електрична машина, турбогенератор складається з активної та конструктивної частин. За масою конструктивні елементи дорівнюють масі активних елементів, а за кількістю навіть перебільшують. Кожне підприємство-виробник турбогенераторів використовує свої технічні рішення для реалізації конструктивного рішення машини.

Мета дослідження. Різноманітність виконання конструктивних частин турбогенераторів потребує їхньої систематизації. Застосування кожного конструктивного елемента обумовлено забезпеченням функціонування турбогенератора в цілому. Одним з таких конструктивних елементів є кріплення осердя статора в корпусі турбогенератора, яке отримало назву "підвіска осердя статора".

Необхідність застосування підвіски осердя статора в турбогенераторі. Як відомо, статор турбогенератора складається з шихтованого осердя, в пазах якого розташовано трифазну розподілену обмотку та яке кріпиться у суцільнозварному корпусі. Корпус закріплюється на фундаменті турбоагрегату.

В стаціонарному режимі відбуваються коливання статора турбогенератора. Ці коливання викликаються нерівномірним тяжінням обертового ротора під дією змінного магнітного поля, яке створюється в основному обертовими електромагнітами (полюсами) ротора. Постійно діючі знакозмінні електромагнітні сили збуджують вібрації осердя та обмотки статора. Ці сили спричиняють вібрації осердя з подвійною частотою струму обмотки статора [1]. Так, при частоті струму обмотки статора 50 Гц частота коливань осердя статора становить 100 Гц, а при частоті струму обмотки статора 60 Гц частота коливань осердя статора складе 120 Гц. Крім того, в аномальних та перехідних режимах роботи турбогенератора виникають змінні складові електромагнітного моменту, які спричиняють вібрації одинарної та подвійної частоти струму обмотки статора. Механічні коливання великих мас (маса осердя статора з обмоткою сягає декілька сотень тон, маса корпусу складає десятки тон) можуть призвести до руйнувань як самого турбогенератора, так і турбоагрегату в

цілому.

Проблеми вібрації для потужних турбогенераторів ускладнюється тим, що значні змінні електромагнітні сили діють на статор, який являє собою складну конструкцію з можливими зазорами між осердям та обмоткою статора, між осердям та елементами його конструкції. Це в низці випадків породжує віброударні явища, що призводять до руйнування елементів статора від утомленості.

Найбільші напруги виникають при вібрації статора двополюсних турбогенераторів, оскільки чим більша кількість полюсів, тим більше вузлів має форма коливань осердя статора по колу і тим менша амплітуда коливань та напруги.

Для зменшення передавання вібрацій з осердя статора на корпус статора турбогенератора та фундамент турбоагрегату осердя підвішується в корпусі за допомогою конструктивного елемента, який називається підвіскою осердя статора (рис. 1).

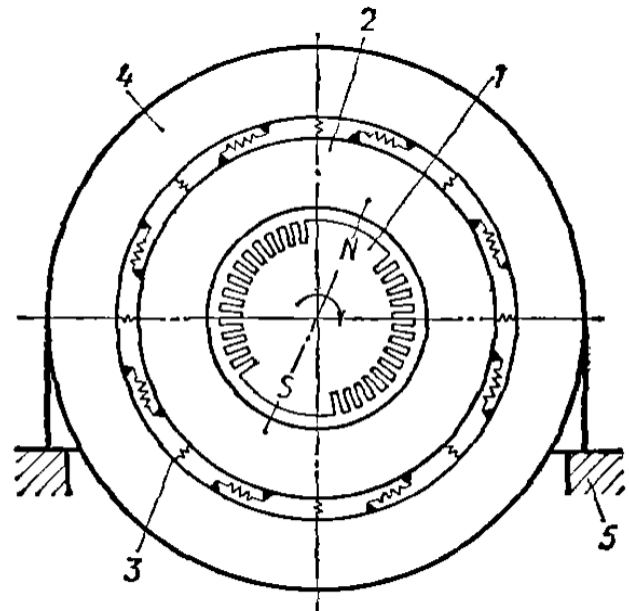


Рис. 1 – Схема компонентів турбогенератора:
1 – ротор турбогенератора, 2 – осердя статора;
3 – підвіска осердя статора; 4 – корпус статора;
5 – фундамент турбоагрегату

Система підвіски осердя статора є одним з

найважливіших і найнавантажениших конструктивних елементів статора. Вона закріплює осердя статора в корпусі, сприймає на себе вагу осердя та знакомінні зусилля від вібрацій осердя, забезпечує збереження необхідного рівня жорсткості осердя, а також віброізоляцію корпусу та фундаменту від вібрацій осердя.

Жорстка підвіска осердя статора турбогенератора. В турбогенераторах потужністю від 6 до 165 МВт будь-якої фірми-виробника зв'язок осердя з корпусом здійснюється жорстко за допомогою системи спеціальних поздовжніх стягуючих брусів (стягуючих призм), які з зовнішнього боку кріпляться до внутрішніх кільцевих ребер жорсткості (перегородок) корпусу за допомогою кутників або шпильок (рис. 2). Зв'язок стягуючих призм з осердям статора здійснюється за допомогою з'єднання типу "ластівчин хвіст". Стягуючі призми суцільні та мають постійний поперечний переріз по всій довжині. Така конструкція отримала назву "жорстка підвіска" [2]. Така система є простою та зручною у складанні. Її застосування обмежується неможливістю забезпечити міцність конструкції та гасіння вібрації при більших потужностях.

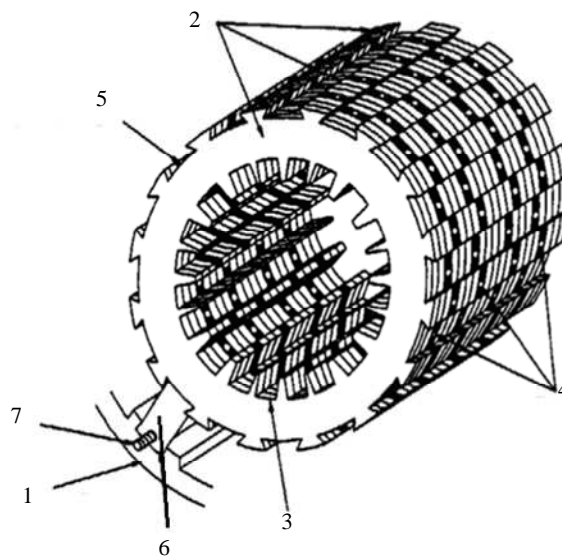


Рис. 2 – Статор турбогенератора із жорсткою підвіскою:
1 – корпус статора; 2 – листи осердя статора; 3 – паз статора для обмотки; 4 – вентиляційні канали осердя статора; 5 – паз для кріплення "ластівчин хвіст"; 6 – стягуюча призма; 7 – шпонка

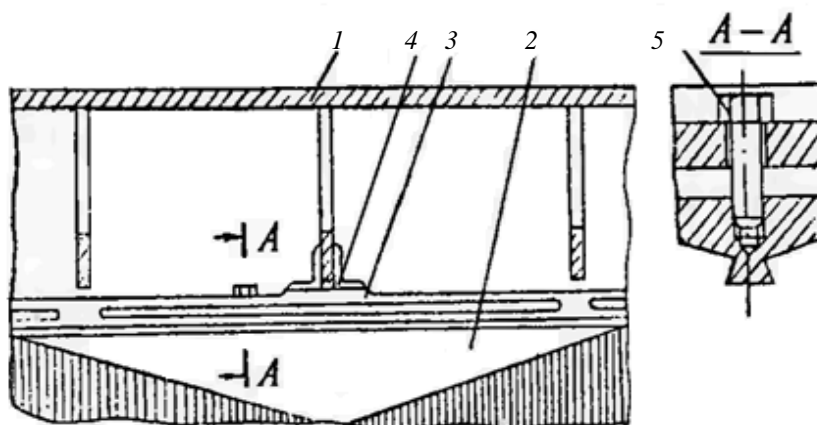


Рис. 3 – Статор турбогенератора серії ТВВ з еластичною підвіскою:
1 – корпус статора; 2 – осердя статора; 3 – стягуюча призма з аксіальними прорізами; 4 – кутник; 5 – технологічний болт

Еластична підвіска осердя статора турбогенератора. В турбогенераторах потужністю від 200 до 500 МВт виробництва "Завод "Електросила" (Росія) для зменшення вібрацій, що передаються від осердя статора на корпус та фундамент, в стягуючих призмах фрезуються спеціальні аксіальні прорізи (рис. 3). Ці прорізи посилюють амортизаційні властивості стягуючих призм. Така підвіска отримала назву еластичної [3].

Конструктивне виконання еластичної підвіски залежить від серії турбогенератора. Так, наприклад, в турбогенераторах серії ТВВ з зовнішнього боку осердя статора стягуючі призми закріплюються спеціальними технологічними болтами, тому що вигин задньої стінки призми більший за вигин передньої стінки, де розташовується "ластівчин хвіст". Після складання та пресування осердя статора болти відкручуються, а виступ у формі ластівчиного хвоста притискається до осердя. Технологічні болти застосовуються тільки у верхньому напівциліндрі

статора, тому що у нижньому напівциліндрі притискання забезпечується власною вагою статора [4].

Пружна підвіска осердя статора турбогенератора. Для зменшення передавання вібрації осердя до корпусу та фундаменту в турбогенераторах потужністю від 200 до 350 МВт застосовуються пружна конструкція кріплення підвіски осердя до корпусу за допомогою пластинчастих пружин, які розташовані в двох взаємно перпендикулярних площинах.

В турбогенераторах серії ТГВ потужністю від 200 до 300 МВт виробництва "Завод "Електроважмаш" (м. Харків, Україна) кріплення осердя до корпусу статора виконується за допомогою системи пластинчастих тангенційних пружин (рис. 4).

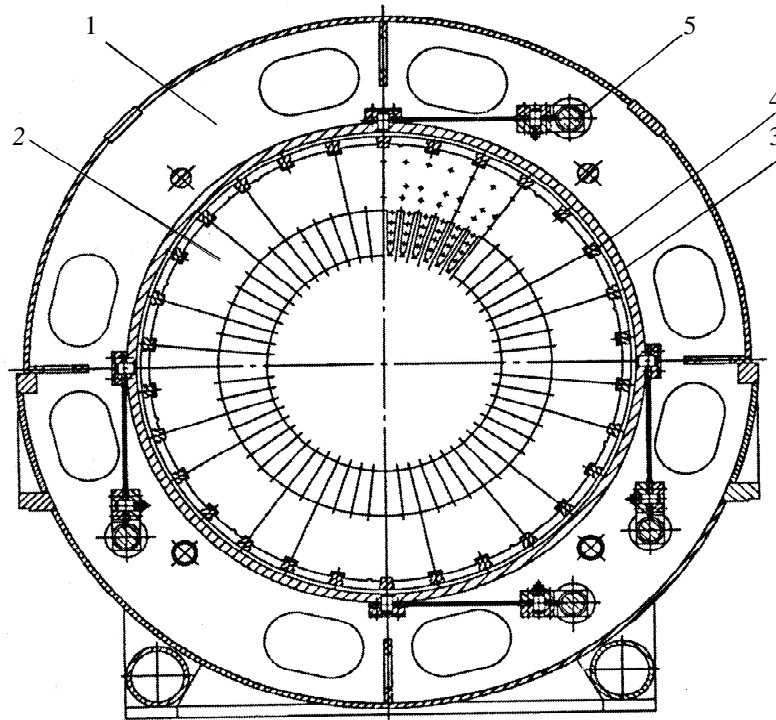


Рис. 4 – Статор турбогенератора серії ТГВ з пружною підвіскою:
1 – корпус статора; 2 – осердя статора; 3 – стягуюча призма; 4 – рама; 5 – пружина підвіски

Одним кінцем ці пружини (рис. 5) приєднуються до внутрішньої поверхні корпусу, а іншим – до сталевій рамі, в середині якої розташовується осердя статора. Зв'язок осердя з рамою є жорстким та здійснюється за допомогою системи приварених до рами стягуючих призм.

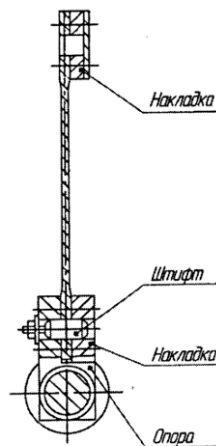


Рис. 5 – Пружина підвіски статора турбогенератора ТГВ-325

В турбогенераторах серії ТГВ потужністю від 300 до 350 МВт стягуючі призми розклинуються в ступінчастих пазах по поверхні спинки осердя статора за допомогою системи радіальних та тангенційних розпорних клинів. Заклинювання здійснюється таким чином, що призми з радіальною та тангенційною фіксацією чередувалися по колу статора.

В турбогенераторах потужністю більшою за 500 МВт пружна підвіска розташовується ззовні корпусу статора.

В турбогенераторах ТГВ-500 закріплення осердя в корпусі статора жорстке, а сам корпус пружно кріпиться на фундаменті за допомогою чотирьох груп подвійних тангенційних пружин, встановлених вертикально (дві групи пружин по боках статора з боку контактних кілець та дві групи збоку турбіни) (рис. 6) [5].

У турбогенератора ТЗВ-800 пружне кріплення осердя в корпусі виконано тільки по бічних боках статора в зоні опорних лап приварюванням ребер до кільцевих стінок корпусу. В ребрах супротив місць приварювання передбачаються поздовжні прорізи, які забезпечують пружне кріплення осердя. До збільшення міцності кріплення осердя до корпусу кількість ребер в бічних зонах збільшено вдвічі, причому додаткові ребра приєднано до активної сталі та корпусу та є не стягуючими, а тільки опорними для тангенційних пересувань. Верхні та нижні стягуючі ребра з корпусом не зв'язані, а жорстко розклинені до ярма осердя.

Для покращення віброізоляції корпусу та фундаменту від магнітних вібрацій осердя в деяких потужних турбогенераторах (наприклад, ТЗВ-800) частину а стягуючих призм у верхній та нижній частинах статора від'єднують від корпусу. Кріплення активної частини сталі до корпусу еластичне та здійснюється за допомогою стягуючих призм, які розташовуються в бічних секторах статора. Це конструктивне рішення дозволило виключити вивільнення верхніх призм та надмірне навантаження нижніх, що обумовлено вертикальним зсувом осердя статора під дією власної ваги.

Кріплення осердя статора в корпусі чотириполюсних турбогенераторів. Особливої уваги заслуговує турбогенератор потужністю 1000 МВт. Зовнішній діаметр осердя статора чотириполюсного турбогенератора приблизно дорівнює зовнішньому діаметру двополюсного турбогенератора, не зважаючи на великий діаметр ротора. Це пояснюється зменшенням в $\sqrt{2}$ разів магнітного потоку на один полюсний крок, висоти спинки осердя статора, висоти зубців статора та величини повітряного проміжку. Практично при тому самому зовнішньому діаметрі осердя статора та більшому внутрішньому діаметрі маса чотириполюсного статора менша за масу двополюсного ротора. Тому повні маси чотириполюсного та двополюсного турбогенераторів приблизно дорівнюють одна одній при однаковій потужності.

Однією з основних особливостей чотириполюсних турбогенераторів є зниження вібрації осердя в 4–5 разів через благоприємне розташування магнітного потоку по колу статора. По цій причині кріплення осердя до статора здійснюється жорстко, без еластичної підвіски.

Висновки. Осердя статора турбогенераторів потужністю до 160 МВт з'єднується з корпусом жорстко. В турбогенераторах потужністю від 200 до 500 МВт серії ТВВ використовується еластична підвіска. В турбогенераторах серії ТГВ потужністю від 200 до 500 МВт застосовується пружна підвіска з розташуванням всередині або ззовні корпусу статора.

Чотириполюсні турбогенератори не потребують додаткових пристосувань для зменшення вібрацій, та з'єднуються з корпусом статора жорстко.

Список літератури: 1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. В.Н. Челомей (пред). – М.: Машиностроение. – 1980 – Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – 1980. – 544 с. 2. Basic AC electrical generators // Режим доступу: http://www.asope.org/pdfs/AC_Electrical_Generators_ASOPE.pdf. 3. Хуторецкий Г.М., Токов М.И., Толвинская Е.В. Проектирование турбогенераторов // Г.М. Хуторецкий, М.И. Токов, Е.В. Толвинская / Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние. – 1987. – 256 с. 4. Инозметев Е.К. Ремонт конструктивных узлов турбогенераторов. (Часть 1) // Е.К. Инозметев / М.: НТФ "Энергопрогресс". – 2005. – 112 с. 5. Кузьмин В.В., Шевченко В.В., Минко А.Н. Оптимизация массогабаритных параметров неактивных частей турбогенераторов / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко, А.Н. Минко / Х.: Монограф СПДФЛ Чальцев А.В. – 2012. – 246 с.

Bibliography (transliterated): 1. Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. V 6-ti t. Red. V.N. Chelomey (pred). – Moscow: Mashinostroenie. – 1980 – Vol. 3. Kolebaniya mashin, konstruksiy i ikh elementov. Pod red. F.M. Dymentberga y K.S. Kolesnikova. – 1980. – 544 p. Print. 2. Basic AC electrical generators. Rezhym dostupu: www.asope.org/pdfs/AC_Electrical_Generators_ASOPE.pdf. 3. Khutoretskiy H.M., Tokov M.Y., Tolvynskaya E.V. Proektyrovanye turbogeneratorov. H.M. Khutoretskiy, M.Y. Tokov, E.V. Tolvinskaya. Leningrad: Enerhoatomizdat, Leningr. otd-nye. – 1987. – 256 p. Print. 4. Inozmetsev E.K. Remont konstruktivnykh uzlov turbogeneratorov. (Chast' 1). E.K. Inozemetsev. Moscow: NTF "Energoprogress". – 2005. – 112 p. Print. 5. Kuz'min V.V., Shevchenko V.V., Minko A.N. Optymyzatsiya massohabarytnykh parametrov neaktyvnykh chastey turbogeneratorov. V.V. Kuz'myn, V.V. Shevchenko, A.N. Minko. Kharkov: Monograf SPDFL Chal'tsev A.V. – 2012. – 246 p. Print.

Надійшла (received) 10.10.2015



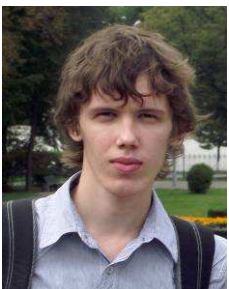
Юр'сва Олена Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри електричних машин; тел.: (057) 707-68-44; e-mail: ele6780@yandex.ua.

Yur'eva Olena Yuriyivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of electric machines; tel.: (057) 707-68-44; e-mail: ele6780@yandex.ua.



Поломошнов Сергій Васильович – студент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут".

Polomoshnov Sergey Vasilievich – student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".



Поломошнов Євген Васильович – студент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут".

Polomoshnov Evgeniy Vasilievich – student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".