

**В.И. МИЛЫХ**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУ "ХПИ", Харьков

**В.С. ШПАТЕНКО**, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

**В.В. КУЗЬМИН**, д-р техн. наук, проф., каф., УИПА, Харьков

## **ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ СКЛЕЕННЫХ ПАКЕТОВ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРОВ КРУПНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ**

Виконан аналіз причини виникнення пошкоджень склеєних пакетів осердь статорів великих турбогенераторів з однаковою конструктивно-технологічною основою на прикладі машин серії ТВВ-320 і ТГВ-300.

Выполнен анализ причины возникновения повреждений склеенных пакетов сердечников статоров крупных турбогенераторов с одинаковой конструктивно-технологической основой на примере машин серии ТВВ-320 и ТГВ-300.

**Введение.** Обзор наиболее часто встречающихся дефектов зубцовой зоны сердечников статоров турбогенераторов позволил считать, что:

– усталостные повреждения с последующим выкрашиванием фрагментов, которые представляют большую опасность и ограничивают работоспособность турбогенератора;

– обрывы листов вдоль вентиляционных распорок и их изломы в глубине зубца; разрушения распространяются на значительную глубину зубцов, а также возрастает скорость развития повреждений активной стали;

– вентиляционные распорки полностью разрушаются на глубину до 50 мм и имеют износ на 1-3 мм по толщине распорки на глубину до 150 мм и более от поверхности расточки статора.

Как отмечено в [1] "при создании турбогенераторов с запеченными крайними пакетами сердечников статоров высказывалась надежда, что подобные повреждения не будут иметь место. Однако последующая эксплуатация и обследования таких турбогенераторов показали, что и на них имеют место повреждения зубцов крайних пакетов, хотя и существенно реже, чем у турбогенераторов с незапеченными пакетами. На нескольких турбогенераторах по этой причине возникали аварийные отключения".

**Цель работы** – объяснить почему повреждаются склеенные пакеты сердечников статоров турбогенераторов серии ТВВ-320, тогда как

они не ломаются на машинах серии ТГВ-300.

**Основные материалы исследования.** В [2] нами показано, что использование метода магнитных натяжений для расчета осевых вибровозмущающих сил в сердечниках статоров крупных турбогенераторов дает результаты, которые и количественно и качественно противоречат экспериментальным данным. Коренная причина здесь заключается в том, что эти осевые усилия возникают в результате воздействия основного, рабочего магнитного потока, а отнюдь не потока рассеяния в торцевых зонах сердечника. При этом силы с частотой 100 Гц приложены к крайним листам каждого пакета, что при оптимальных значениях индукции в зубцах приводит к возникновению динамических напряжений, которой иногда могут превышать статическое давление запрессовки, при этом обе составляющих складываются.

Никакие из перечисленных гипотез (старение турбогенераторов, режимные особенности, низкий уровень сервисного обслуживания, нагрев стяжных шихтовочных ребер), не имеют прямого отношения к решению рассматриваемой проблемы.

Изломы склеенных пакетов, листов зубцов и износ вентиляционных распорок турбогенераторов всех серий ТВВ – следствия одной и той же коренной причины, сопутствующим фактором которой является резкое снижение давления прессыковки на 30-40% из-за усадки сердечника.

Но при той же конструктивно-технологической основе и работе в таких не легких эксплуатации ничего подобного не наблюдается на целом ряде машин других серий [3].

В создавшейся запутанной ситуации ключом к решению этой комплексной проблемы послужило упомянутые в [1] "недостаточная прочность или неправильная установка нажимных пальцев; этот дефект изготовления сердечника обнаруживается обычно визуально, так как приводит к пластической деформации и (или) смещению пальцев от первоначального положения".

Согласно данным, приведенным в [4], как это неудивительно – запас прочности в нажимных пальцах ТВВ-320-2 только от действия статического давления запрессовки составляет всего лишь 14%.

По нашим оценочным расчетам к статическому давлению  $p_0 = 1,2$  МПа при номинальной нагрузке в этой машине добавляется еще в пике 101-герцовая составляющая  $p_d = 1,66$  МПа.

Хотя нажимные элементы обоих турбогенераторов разрабатывались по одним и тем же устаревшим канонам, запас прочности в ТВВ-320 явно недостаточен. А в ТГВ-300 – избыточен.

Таблица 1 – Показатели запасов прочности машин ТВВ-320 ("Электросила") и ТГВ-300 ("Электротряжмаш")

Генератор	В статике при $p_c = 1,2$ МПа					В динамике при $p_{max} = 1,2 + 1,66 = 2,86$ МПа	
	Момент $M_2$ , Н·мм	Сечение пальцев $t \times s$ , мм	Момент сопротивления $W$ , мм <sup>3</sup>	Напряжение в корне пальца $\sigma_c$ , МПа	Запас прочности $k_c = 1 - \sigma_c / \sigma_s$	Макс. запас прочн. $\sigma_{max}$ , МПа	Запас прочн. $k_d = 1 - \sigma_m / \sigma_s$
ТВВ-320	$1,05 \cdot 10^8$	20×45	6750	259	+0,14	531	-1,05
ТГВ-300	$0,59 \cdot 10^8$	48×48	18430	53	+0,72	129	+0,57

После отгиба нажимного пальца динамические усилия в комбинации со статическими ломают и отгибают клееные пакеты, а после распрессовки статора появляются остальные из вышеперечисленных дефектов. Более того в [5] нами показано, что работа турбогенераторов в режиме недовозбуждения резко снижает уровень динамических составляющих внутренних давлений в сердечнике статора.

**Выводы.** Основной причиной массового возникновения дефектов в сердечниках статоров турбогенераторов типа ТВВ-320-2 является недостаточная прочность нажимных пальцев. Такова же причина и недостаточного уровня надежности турбогенераторов ТВВ-1000-2 на АЭС Украины.

**Список литературы:** 1. *Голоднова О.С., Ростик Г.В.* Анализ и мероприятия по предупреждению повреждений сердечников статоров турбогенераторов // *Электросила*. – 2004. – № 43. 2. *Кузьмин В.В., Шпаченко В.С.* К расчету осевых сил в сердечнике статора мощного двухполюсного турбогенератора // *"Электротехника и электромеханика"*. – 2010. – № 2. 3. *Кузьмин В.В., Лившиц А.Л., Шпаченко В.С.* Малозатратные и энергосберегающие технологии реабилитации турбогенераторов – основа технического перевооружения энергетики Украины // *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах*. Наука, освіта і практика. – 2011. – № 1. – С. 226-227. 4. *Хуторецкий Г.М., Токков М.И., Толвинская Е.В.* Проектирование турбогенераторов. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с. 5. *Шпаченко В.С., Мильх В.И.* О влиянии режимов

недовозбудження на ефективність експлуатації турбогенераторів // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. – 2011. – №1. – С. 176-177.



**Міліх Володимир Іванович**, професор, доктор технічних наук. Захистив диплом інженера, дисертації кандидата і доктора технічних наук в Харківському політехнічному інституті за фахом електричні машини і апарати, відповідно в 1972, 1978 та 1996 рр. Завідувач кафедру "Електричні машини" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" з 2004 р. Наукові інтереси пов'язані з дослідження електромагнітних параметрів та процесів в електричних машинах різних типів



**Шпатенко Віктор Сергійович**, аспірант. Захистив диплом магістра в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" в 2010 р. Наукові інтереси пов'язані з дослідженням електромагнітних та силових процесів в потужних синхронних генераторах.



**Кузьмін Віктор Володимирович**, професор, доктор технічних наук. Захистив диплом інженера, дисертації кандидата і доктора технічних наук в Харківському політехнічному інституті за фахом електричні машини і апарати, відповідно в 1960, 1970 та 1984 рр. Наукові інтереси пов'язані з електроенергетикою та теоретичними основами електротехніки.

*Поступила в редколегію 07.12.2011  
Рецензент д.т.н., проф. Болюх В.Ф.*