

УДК 539.3

Н.Е.Блохина (асп., каф. МПУ), Д.Ю.Соколов, к.т.н., вед. инж. ОАО “Электросила”,  
И.З.Штилерман, к.т.н., нач. сектора ОАО “Электросила”, А.И.Боровков, к.т.н., проф.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ И ВЫВОДНЫХ ШИН МОЩНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Соединение выводных стержней статорной обмотки турбогенератора производится, как правило, при помощи соединительных шин, которые представляют собой полые медные стержни прямоугольного сечения, изолированные стеклослюдинитовой лентой, пропитанной в компаунде. Шины связаны между собой при помощи вязок и притянуты к нажимному кольцу при помощи шпилек через стеклотекстолитовые прокладки. Основным вибрационным воздействием на шины является кинематическое возмущение, а именно, вибрация элементов крепления, передающаяся от сердечника статора, основная составляющая которой имеет частоту 100 Гц.

Работы по численному исследованию динамических характеристик шин на ОАО «Электросила» ранее не проводились, поскольку сложная конструкция шинного кольца не позволяет применить традиционные методики расчета.

В работе выполнены конечно-элементные (КЭ) исследования динамических характеристик шинных колец мощных турбогенераторов. КЭ расчеты были выполнены при помощи программной системы КЭ анализа *ANSYS*.

На первом этапе исследования были построены трехмерные КЭ модели радиальных участков шин, в которых было подробно смоделировано соединение стержней в шину. Анализ полученных при помощи этих моделей собственных частот и форм показал, что у каждой из шин есть хотя бы одна собственная частота ниже 100 Гц.

Две первые собственные формы шины КЗА, соответствующие частотам 87 Гц и 129 Гц, приведены на рис. 1.

При помощи КЭ анализа радиального участка шины КЗА были определены жесткости узла «соединение стержней в шину». Было принято предположение, что узел является жестким на перемещение по всем направлениям и на поворот вокруг оси шины.

Жесткости на поворот по двум оставшимся направлениям были определены двумя способами: при помощи приложения статического момента и при помощи сравнения собственных частот с частотами рассмотренной далее стержневой модели.

Значения жесткостей узлов были использованы для построения КЭ модели шинного кольца статора, в которой шины были смоделированы при помощи одномерных элементов, т.е. стержней постоянного сечения из эквивалентного материала (рис. 2). Размеры сечения стержня и параметры эквивалентного материала были подобраны таким образом, чтобы плотность стержня и его жесткость на изгиб в двух направлениях соответствовали аналогичным характеристикам шины в изоляции.

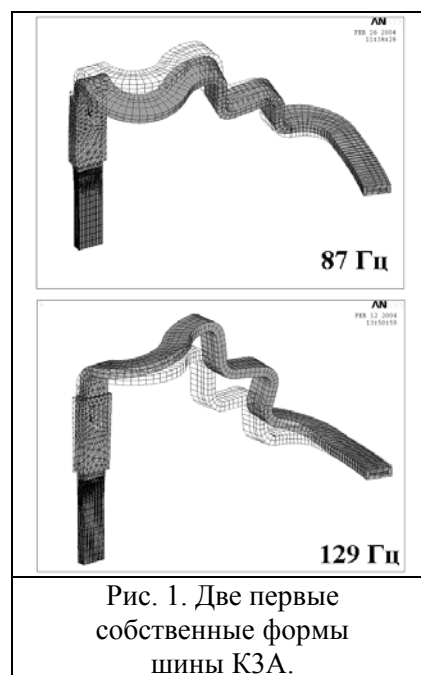


Рис. 1. Две первые собственные формы шины КЗА.

Узлы крепления шин между собой (вязки) моделировались 6-компонентными пружинами, жесткость которых была определена при помощи подробного трехмерного КЭ анализа узла. В отличие от вязок, в которых силовую связь между шинами обеспечивают только стеклотекстолитовые прокладки, крепление шин к нажимному кольцу ужесточено болтами. Поэтому было принято предположение, что его жесткость в 1.5 раза больше жесткости вязок.

Концевые выводы шин были смоделированы при помощи стержней постоянного сечения.

Анализ собственных частот и форм шинного кольца показал, что некоторым частотам соответствуют колебания только одной шины, а некоторым – колебания нескольких шин и пролетов дуговых (тангенциальных) участков 6 шин (из 12) имеют резонанс вблизи 100 Гц.

Разница между частотами, полученными при помощи двух рассмотренных выше расчетных моделей, не превышает 10%. Спектр, полученный при помощи стержневой модели, более полный, поскольку стержневая модель шинного кольца позволяет выявить частоты, соответствующие связанным колебаниям нескольких шин.

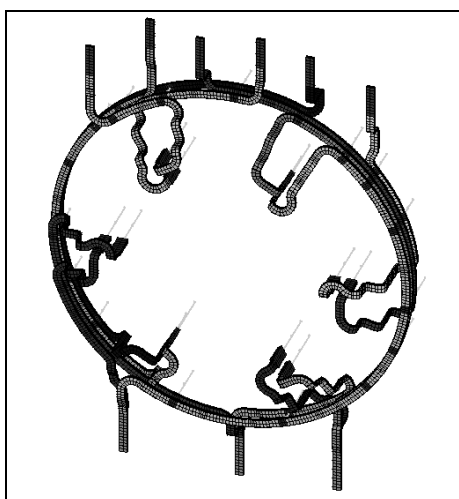


Рис. 2. Конечно-элементная модель шинного кольца.

Было проведено исследование влияния характеристик шинного кольца (а именно, массы, толщины изоляции, жесткости элементов крепления, расположения узлов крепления шин к нажимному кольцу) на собственные частоты шин, которое показало, что изменение перечисленных выше параметров в допустимых пределах не может обеспечить уверенную отстройку шин от 100 Гц.

Анализ экспериментальных собственных частот шинных колец статоров турбогенераторов ТВВ-1000 на трех электрических станциях показал, что несмотря на то, что шинные кольца этих турбогенераторов имеют одинаковую конструкцию и подвергаются одинаковому воздействию, их экспериментальные частоты различаются между собой. Это различие можно объяснить тем, что на собственные частоты влияют трудно контролируемые и

изменяющиеся во времени величины жесткостей крепления шин к стержням и нажимному кольцу. Экспериментальные и расчетные исследования показали, что ослабление крепления одной из шпилек, притягивающих шинное кольцо к нажимному, может привести к снижению некоторых собственных частот на 25%. Подобная неопределенность характеристик системы крепления затрудняет отстройку шинного кольца от резонанса.

В связи с проведенными исследованиями и обнаружением резонансов вблизи основной возмущающей частоты 100 Гц было принято решение о проведении модернизации системы крепления шинного кольца при ремонтах и на новых турбогенераторах.

Таким образом, в результате исследований динамических характеристик выводных и соединительных шин статоров крупных турбогенераторов получено удовлетворительное совпадение расчетных данных с экспериментальными.

Проведено исследование влияния различных параметров шинного кольца на его собственные частоты и формы колебаний.

Выявлено наличие резонансов в шинах и шинном кольце вблизи основной возмущающей частоты 100 Гц. Для улучшения динамических характеристик системы и уверенной отстройки ее от резонанса была разработана и внедрена новая система крепления шинного кольца.

Для более полного анализа динамических характеристик шинного кольца следует провести исследование вынужденных колебаний шин и демпфирования в системе.

