

**С.В. КРАСНИКОВ**, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ ТУРБОАГРЕГАТ-ФУНДАМЕНТ-ОСНОВАНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОТЕРИ КОНТАКТА**

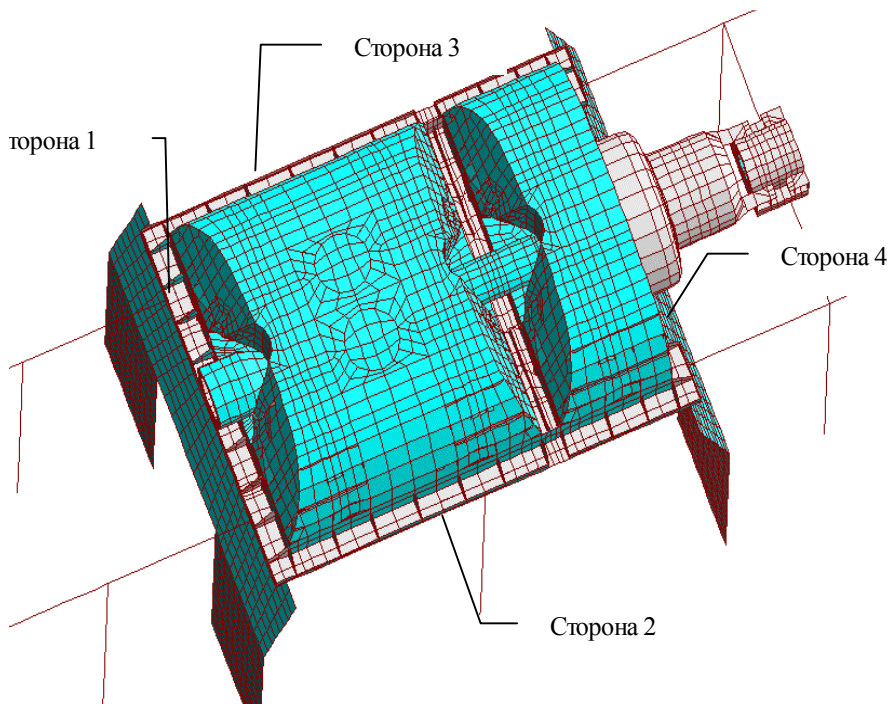
Розглядаються питання, що пов'язані з порушенням контактної взаємодії корпусу турбіни з фундаментом. Проведено аналіз характеристик власних коливань системи валопровід-фундамент при характерних варіантах порушення контактної взаємодії. Математичні моделі та розрахунки виконано на основі методу скінчених елементів.

The problems, related with break of contact of turbine case with foundation, are considered. The eigen-tones analysis of several versions turbine-foundation-base system with different version of break of contact are made. The mathematical models and calculations are executed on the basis of finite elements method.

Турбоагрегат-фундамент-основание (ТФО) является системой, в которой важным является динамическая взаимосвязанность отдельных конструктивных элементов, способных возбуждать, усиливать или гасить колебания. ТФО состоит из лежащего на грунте фундамента, установленных на него турбин, конденсатора, генератора и возбудителя генератора. Валы турбины и генератора объединены в единый валопровод. Система ТФО имеет вертикальную плоскость симметрии, проходящую через ось валопровода. Основной несущей конструкцией является фундамент, а основной динамической нагрузкой – вибрация, которая вызвана дисбалансом валопровода [1]. Валы турбин мощностью 300 МВт и выше своей большей частью опираются на корпуса турбины, которые свободно лежат на фундаменте [2]. Вследствие вибрации корпуса и других факторов его полный контакт с фундаментом со временем нарушается. В отдельных случаях визуально фиксируется потеря контакта на большой площади. Поэтому целесообразно провести исследование влияния значительной потери контакта между корпусом турбины и фундаментом на вибрационные характеристики системы ТФО. В данной статье рассматриваются изменения собственных частот и форм при нескольких схемах потери контакта.

Для проведения исследований было решено использовать ранее разработанную конечно-элементную модель системы ТФО [3]. Расчеты собственных частот и форм проводились на основе метода конечных элементов. Было решено провести анализ собственных частот и форм системы ТФО для определения резонансов, которые могут привести к разрушению системы. Резонанс может возникнуть при совпадении рабочей частоты турбины с собственной частотой системы. Рабочая частота турбины номинально равняется 50 Гц и может варьироваться в пределах 49 – 50,5 Гц [4].

Для исследования поставленной задачи было предложено провести 8 вариантов расчетов при неполном контакте турбины с фундаментом (см. табл. 1, рисунок).



Модель системы ТФО с обозначением сторон контакта корпуса турбины с фундаментом

Таблица 1 – Схемы контакта корпуса турбины с фундаментом

№ варианта расчета	Контакт по сторонам	
	Присутствует	Отсутствует
Исходный расчет	1-4	-
1	2-4	1
2	1; 3-4	2
3	1-2; 4	3
4	1-3	4
5	2-3	1; 4
6	2; 4	1; 3
7	1-2	3-4
8	1; 4	2-3

Таким образом, объектом исследования является динамически взаимосвязанная система ТФО, а предметом исследования – собственные частоты и формы колебаний системы ТФО при разных схемах контакта турбоагрегата с фундаментом.

Были выполнены расчеты собственных частот и форм системы ТФО при полном равномерном контакте корпуса турбины с фундаментом и нескольких вариантах неполного контакта этих элементов системы (см. табл. 1). Результаты исследования приведены в таблицах 2 – 4.

В таблицах 2-4 модель системы ТФО с равномерным полным контактом корпуса турбины и фундамента носит название «Исходная модель». Эта система имеет в диапазоне 0 – 55 Гц 69 собственных частот. Соответствующие им собственные формы колебаний в таблицах 2 и 3 обозначены по порядку следования собственных частот. Специфические собственные формы моделей системы ТФО с потерей контакта обозначены латинскими буквами.

Таблица 2 – Сопоставление собственных форм колебаний на частотах из диапазона 45 - 50 Гц, варианты потери контакта по одной из сторон корпуса (1-4)

Обозначение с.форм	Исходная модель	Вариант потери контакта			
		1	2	3	4
Собственные частоты, Гц					
59	47,1	47,1	46,8	46,8	47,2
60	47,8	47,8	47,6	47,6	47,6
61	48	48	48,1	48,1	48,1
62	49,97	50,1	49,4	49,4	50,1
63	50,3	50,3	50,2	50,2	50,3
64	51,1	51,1	50,9	50,9	51,1
65	51,7	51,7	51,1	51,1	51,7
66	53,12	-	52,1	52,1	53,1
A	-	53,3	-	-	-
67	53,4	53,5	53,5	53,5	53,5
68	54,5	54,5	53,8	53,8	54,5
69	55	55	54,5	54,5	55,0

Из табл. 2 видно, что при потере контакта только по одной из сторон корпуса существенное изменение характеристик собственных колебаний происходит только при 1-ом варианте потери контакта. В этом случае возникла новая собственная форма колебаний, которая характеризуется интенсивными колебаниями корпуса турбины возле стороны 1 (см. рис. 1) и последующей частью фундамента. Эта форма колебаний является опасной для работы ТФО, но вероятность ее появления мала, поскольку соответствующая собственная частота больше рабочей на 3,3 Гц.

Более существенные изменения характеристик собственных колебаний происходят при потере контакта по двум сторонам корпуса (варианты 5-8, см. табл. 1). Незначительные изменения имеются только при 5 варианте потери контакта. Это, возможно, связано с тем, что сохраняется симметричность системы ТФО относительно исходной вертикальной плоскости симметрии, проходящей через ось валопровода.

При 6-ом варианте потери контакта появляется новая собственная форма колебаний (см. табл. 3), которая является несимметричной и характеризуется изгибными колебаниями корпуса турбины возле стороны 4 (цилиндр среднего давления) и колонн фундамента. Эта форма колебаний является опасной, соответствующая ей собственная частота составляет 48 Гц и находится близко к рабочему диапазону 49 – 50,5 Гц.

Таблица 3 – Сопоставление собственных форм колебаний на частотах из диапазона 45 - 50 Гц, варианты потери контакта по двум сторонам корпуса (5-8)

Обозначение с.форм	Исходная модель	Вариант потери контакта			
		5	6	7	8
		Собственные частоты, Гц			
59	47,1	47,1	46,4	46,3	46,5
60	47,8	47,6	47,1	-	47,1
В	-	-	-	47,3	-
61	48	48,0	47,5	48,0	47,9
62	49,97	50,1	-	49,1	49,1
С	-	-	48	-	-
63	50,3	50,3	50,1	49,9	-
D	-	-	-	-	49,9
64	51,1	51,1	50,5	50,4	50,1
65	51,7	51,7	51,1	51,1	51,1
66	53,12	53,1	51,8	51,4	51,2
67	53,4	53,34	52,5	52,34	52,4
68	54,5	54,5	53,6	53,2	53,8
69	55	55,0	54,5	54,4	53,8

7-ой вариант потери контакта приводит к появлению новой собственной формы колебаний на частоте 47,3 Гц. Формы колебаний В и С (см. табл. 3) характеризуются схожими колебаниями корпуса турбины и отличаются колебаниями фундамента. Кроме этого, при этом варианте потери контакта в рабочем диапазоне 49 – 50,5 Гц появилась еще одна собственная частота, которой соответствует 64-я собственная форма колебаний. Эта форма характеризуется колебаниями передней части фундамента.

8-ой вариант потери контакта как и при 7-ом варианте приводит к появ-

лению новой собственной формы колебаний и увеличению на 1 количества собственных частот в рабочем диапазоне. Новая собственная форма колебаний характеризуется несимметричными изгибными колебаниями корпуса турбины. При этой форме опоры валопровода практически не колеблются, поэтому сама форма колебаний является менее опасной. Однако новая собственная частота практически совпадает с рабочей, что делает потерю контакта по 8-му варианту очень опасным.

Суммарная информация по изменению характеристик собственных колебаний системы ТФО приведена в табл. 4.

Таблица 4 – Влияние на спектр собственных частот системы ТФО различных вариантов потери контакта корпуса турбины с фундаментом

Модели системы ТФО	Количество новых собственных форм на частотах из диапазона 47 - 55 Гц	Количество собственных частот в диапазоне 49 - 50,5 Гц
Исходный вариант	-	2
1-й вариант потери контакта	1	2
2-й вариант потери контакта	-	2
3-й вариант потери контакта	-	2
4-й вариант потери контакта	-	2
5-й вариант потери контакта	-	2
6-й вариант потери контакта	1	2
7-й вариант потери контакта	1	3
8-й вариант потери контакта	1	3

Из табл. 4 видно, что наиболее опасными являются варианты потери контакта 7 и 8. Оба варианта сохраняют контакт по задней стороне корпуса (сторона 1, см. рис. 1) и имеют контакт по противоположной (вариант 8) или боковой стороне (вариант 7). Наименьшие изменения характеристик собственных колебаний системы ТФО имеются при вариантах потери контакта 2-5.

По результатам проведенного исследования собственных частот и форм системы ТФО при полном равномерном контакте корпуса турбины с фундаментом и нескольких вариантах потери контакта этих элементов системы видно, что система ТФО достаточно устойчива к значительным потерям контакта. Наибольшие изменения характеристик собственных колебаний системы ТФО происходят при потере контакта по двум смежным сторонам корпуса турбины (варианты 7 и 8). Для более полного анализа влияния рассмотренных вариантов потери контакта на работоспособность системы ТФО необходимо провести исследование вынужденных колебаний.

**Список литературы:** 1. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний систем турбоагрегат-фундамент. – Киев: Наукова думка, 1991. – 232 с. 2. Степченко А.С. Численные исследования динамических характеристик системы турбоагрегат-фундамент // Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1994. – 194 с. 3. Жовдак В.О., Красников С.В., Степченко О.С. Решение задачи статистической динамики машиностроительных конструкций с учетом случайного изменения параметров // Проблемы машиностроения. – Харків: «Контраст». – 2004. – Т. 7, № 3. – С. 39-47. 4. Шейнин И.С., Цейтлин Б.В. Теоретическое исследование динамических характеристик ряда фундаментов под мощные турбоагрегаты // Изв. ВНИИГ им. Веденеева. – 1981. – 151. – С. 81-87.  
*Поступила в редколлегию 07.07.2007*

УДК 534.014.1 (09)

**А.А.ЛАРИН**, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ХАРЬКОВСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ С 1930 ПО 1970 ГОДЫ**

У статті представлена історія розвитку методів розрахунків крутильних коливань валопроводів силових установок. Приводиться внесок вчених ХПІ в рішення цього питання у 30 – 70 роки минулого сторіччя.

The history of development of methods to calculate torsion vibrations of shaft power-plants is presented in the article. The contribution of the scientists from KhPI to this subject in the thirties-seventies of last century is described.

**Историческая справка.** Исследования динамики машин включают определение частот и форм свободных колебаний с целью исключения из рабочего диапазона резонансов. Для валопроводов, передающих вращение от двигателя к потребителю, типичными являются крутильные колебания. Задача их исследования возникла на рубеже XIX и XX веков в связи с увеличением мощности и скорости паровых машин. Поскольку эти машины являются машинами циклического действия с периодически меняющимися силами, в их валопроводах стали появляться крутильные резонансные колебания, часто приводящие к усталостному разрушению [1, с.13]. Не умея вычислить напряжений, обусловленных динамическими причинами, инженеры в сомнительных случаях зачастую просто увеличивали коэффициент запаса прочности. Однако увеличение размеров не всегда ведет к уменьшению напряжений [2, с.13]. В статье «К вопросу о явлении резонанса в валах», опубликованной в 1905 году в известиях Санкт-Петербургского политехнического института, С.П. Тимошенко дал анализ