

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «НПО ЦКТИ»,
доктор технических наук
В.Е. Михайлов
2014 г.



ОТЗЫВ

ОАО «Научно-производственного объединения по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ») 191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, д.3/6
на диссертацию Шатохина Виктора Фёдоровича

«Колебания роторов турбоагрегатов с обкатом ротора статора при задеваниях (методы математического моделирования и программные средства)», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки».

Представленная на отзыв диссертация изложена на 283 страницах, содержит 7 глав, заключение, список используемой литературы (188 отечественных и зарубежных источников), список условных обозначений, приложения к главам 3 и 5.6. Представлен также автореферат на 47 страницах.

Актуальность темы диссертации Шатохина В.Ф. определяется существующей в отечественной и зарубежной энергетике тенденций к повышению требований к надёжности и безаварийности работы энергетических объектов, существенную часть которых представляют вращающиеся механизмы. Основным из показателей таких машин является вибрационная надёжность агрегатов, которая может быть обеспечена только с помощью глубоких знаний о происходящих при работе агрегата весьма сложных механических и аэродинамических процессах. Исследованием таких процессов посвящена данная диссертация, актуальность которой определяется работами по обеспечению надёжности как работающего, так и вновь проектируемого и выпускаемого оборудования.

Рассматриваемая автором диссертации проблема колебания роторов с обкатом ротора статора при задеваниях является наиболее сложным и трудно поддающимся анализу явлением, потенциально и, к сожалению фактически приводящим к крупнейшим авариям, связанными с большими экономическими и престижными потерями, а также с реальной опасностью для оперативного персонала.

Решение такой проблемы внесёт существенный вклад в развитие современного энергомашиностроения, повысив его надёжность, безопасность и конкурентоспособность.

К основным научным результатам, полученным автором следует отнести следующие:

- глубокий и обстоятельный анализ существующей научной литературы дающей объективную и квалифицированную оценку состояния вопроса по тематике диссертации (Введение, глава 1);
- определение влияния демпфирования и типа ротора на характер траектории снижения ротора и, в особенности, исследование условий появления обратной прецессии и разрушения симметрии прецессии (Глава 2);
- математическая модель переходных колебаний ротора при задеваниях о статор в результате внезапной разбалансировки и выполненный с помощью созданной модели анализ аварии турбоагрегата 300 МВт на Каширской ГРЭС (Глава 3). Доказано наличие асинхронного обката ротора в качестве основной причины возникших разрушений.
- анализ динамического поведения многоопорного ротора с задеванием о статор в одном или нескольких сечениях при учёте механических свойств ротора, матрицы жёсткости сил смазочного слоя подшипников и аэродинамических сил в проточной части (Глава 4);
- анализ на основе численного моделирования, включающем метод разложения по соответственным формам, нестационарных колебаний многоопорного ротора при импульсном кинематическом воздействии (сотрясении) основания. Результаты данного анализа особенно ценны для обеспечения надёжности агрегатов, работающих в сейсмоопасных зонах (Глава 5);
- расчёт порога динамической устойчивости и многоопорного ротора при действии неконсервативных сил рабочего потока и гидродинамических сил в подшипниках (Глава 6);
- результаты экспериментального исследования развития аварии на физической модели системы роторов при обратном переходе через резонансную зону (Глава 7, рис. 7.6, 7.10).

Научная новизна работы обусловлена:

- исследованием влияния на вибрацию агрегата контактного взаимодействия ротор-статор с определением условий возникновения обратной прецессии.
- созданием математической модели, алгоритма и программного модуля для исследования нелинейных нестационарных колебаний ротора на анизотропных опорах при задеваниях о податливый статор после взаимной разбалансировки ротора.
- решением задачи нестационарных колебаний при нелинейных характеристиках опор при задеваниях в опорах и статоре, на основании созданного автором уникального алгоритма расчёта.

- созданием алгоритма и методики математического моделирования поведения многоопорного ротора при импульсном внешнем воздействии основания с определением «радиуса безопасности» эксплуатации оборудования.
- анализом влияния быстродействия защиты турбоагрегата на погашение развивающегося обката.

Достоверность выносимых на защиту результатов определяется следующим:

- результаты теоретических исследований диссертанта, их анализ и логические объяснения подтверждаются многими примерами экспериментальных исследований различных исследователей, а также экспериментами, проведёнными автором диссертации на моделях и на разгонно-балансировочном стенде.
- при разработке алгоритмов и программных средств использовались выверенные стандартные языки программирования и прикладные программы.
- использовались функции удвоенной точности счёта при выполнении операций на ПК.
- созданные алгоритмы были верифицированы с помощью системы тестов.
- положительные результаты практического применения результатов расчётов при проектировании турбоагрегатов.

Значимость для науки и производства полученных автором результатов состоит в следующем:

- крайне опасное явление обката ротором статорных элементов при задеваниях может происходить практически на всех видах вращающегося оборудования. В силу этого теоретические и экспериментальные результаты, полученные автором диссертации, могут быть применены в целях обеспечения надёжности энергетических объектов на малых ТЭЦ, насосных станциях, крупных ГРЭС и АЭС, на стационарных и транспортных объектах.
- автором предложена схема предотвращения катастроф агрегатов (рис. 7 ÷ 14), имеющая большое практическое значение.
- созданные автором диссертации алгоритмы и расчётные программные комплексы могут быть с успехом использованы для оценки и обеспечения надёжности методом расчётного анализа.

Качество оформления диссертации находится на высоком уровне благодаря использованию современной оргтехники и компьютерных программ – текстовых редакторов, электронных таблиц и пр.

Однако здесь имеются и некоторые замечания: например, в Содержании глава 7.4 указывается на стр. 251, а в тексте она на стр. 255; глава 7.3 – страница не указана.

Апробация результатов работы и их публикация соответствуют требованиям ВАК. Результаты диссертации изложены в 41 печатных работах, из них 33 изданы в рецензированных научных журналах России и сборниках международных конференций.

Содержание автореферата соответствует содержанию и выводам диссертации и дает достаточно полное представление о работе в целом.

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. Расчётные схемы с представлением опорных элементов как многомассовые системы трудно применить к расчёту реальных агрегатов, т.к. обобщённые массы, и демпфирование трудноопределимы. В данном случае целесообразно определять динамические характеристики с помощью вибратора в рабочем диапазоне частот и применять их значения в расчётах.

2. Для предотвращения явления обката ротора следует разработать диагностику наличия задеваний во время работы агрегата. Для этого хотелось бы видеть в диссертации значения диагностических критериев наличия задеваний.

3. В диссертации не описана аппаратура, применяемая при экспериментальных исследованиях и оценка её погрешности.

4. Не уточнена рекомендация автора по быстродействию защиты от асинхронной прецессии (обката). Не ясно, по какому параметру должна действовать защита, и какая аппаратура должна при этом применяться.

Приведённые замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку работы.

Представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, направленным на решение крупной инженерно-технической проблемы, имеющей большое хозяйственное значение для развития электроэнергетики страны, выполненным лично, под руководством и при непосредственном участии автора на современном научно-техническом уровне, и соответствует требованиям, п.9 «Положения» о присуждении учёных степеней предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.04.12 – «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», а её автор Шатохин Виктор Фёдорович достоин присуждения ему учёной степени доктора технических наук.

Отзыв рассмотрен и утверждён на Научно-техническом совете ОАО «НПО ЦКТИ», протокол № 5 от 13.10.2014 г.

Заместитель генерального
директора ОАО «НПО ЦКТИ»,
д.т.н., профессор

Хоменок
Леонид Арсеньевич
(812) 717-43-81

Заместитель заведующего
отдела паровых турбин,
к.т.н.

Ковалёв
Игорь Александрович
(812) 578-87-23