

УЧЁТ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ПРИ АНАЛИЗЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СТАЦИОНАРНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Темис М.Ю., Темис Ю.М., Егоров А.М.

ФАУ «Центральный Институт Авиационного Моторостроения им. П.И. Баранова», г. Москва
mytemis@ciam.ru

Ключевые слова: газотурбинная установка, гироскопический эффект, сейсмическое воздействие.

При проектировании газотурбинной установки (ГТУ) для использования в сейсмических районах необходимо учитывать требования, изложенные в СП "Нагрузки и воздействия", в части включения в расчётные модели сейсмического воздействия на детали и узлы ГТУ. Современные инженерные методы расчёта энергетического оборудования основаны на квазистатическом подходе, который является основным средством массовых расчётов на сейсмостойкость и отражает многолетний опыт расчёта, проектирования и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений традиционного типа [1]. Применение численных методов позволяет рассматривать ГТУ с учётом вращающихся деталей при сейсмическом воздействии, что даёт возможность смоделировать и предотвратить аварийные режимы работы ГТУ при сейсмическом воздействии. Для исследования применяются конечно-элементные модели газотурбинной установки, включающие в себя модели корпусов, роторов и рам, а также детали узлов крепления.

Одной из основных задач при создании расчётной схемы ротора является создание моделей подшипников для последующего расчёта характеристик специализированного конечного элемента опоры и его учёте в общей конечно-элементной модели ГТУ. Для расчёта нелинейных характеристик подшипников скольжения применяется модель опоры, которая включает в себя упругие и демпфирующие свойства масляного слоя, подшипника и опорного корпуса ротора. Расчёт характеристик смазки в подшипнике скольжения осуществляется при помощи уравнения Рейнольдса с учётом допущений в уравнениях течения смазки, применимых для подшипника скольжения [2,3].

Применение рассматриваемых моделей роторов позволяет оценить вклад гироскопических моментов дисков и нелинейных характеристик жёсткости и демпфирования в подшипниках различной конструкции в общий отклик ГТУ на сейсмическое воздействие.

В первую очередь рассчитывается напряжённо-деформированное состояние (НДС) ГТУ при действии рабочих нагрузок, что является преднапряжённым статическим состоянием модели перед расчётом с действием сейсмической нагрузки. Затем при моделировании сейсмического воздействия на опорные узлы силовых рам задаются перемещения, соответствующие модельным или реальным акселерограммам землетрясений 9 баллов по шкале MSK-64. Моделирование отклика ГТУ на сейсмическое воздействие может проводиться как прямым интегрированием уравнений движения конечно-элементной модели ГТУ при сейсмическом воздействии, приложенном к основанию, так и при помощи методов гармонического анализа. В итоге определяется НДС конструкции при действии рабочих нагрузок и сейсмическом воздействии. Предварительно определяются собственные частоты и формы колебаний ГТУ с учётом и без учёта гироскопических моментов, верифицируются конечно-элементные модели конструкции [4].

При анализе отклика всей конструкции для землетрясения силой до 9 баллов получены оценки уровней статических и динамических реакций в опорах и узлах крепления, напряжённо-деформированного состояния деталей. Орбиты ротора и деформации корпусных деталей во время сейсмического воздействия при сравнении с аналогичными данными для стационарного режима позволяют оценить изменение зазоров в газодинамическом тракте для гибкого и жёсткого роторов, различных конструкций подшипников и сделать вывод о работоспособности ГТУ при сейсмическом воздействии. Продемонстрировано, что гироскопические моменты роторов и нелинейные характеристики жёсткости подшипников в

целом определяют отклик стационарной ГТУ на сейсмическое воздействие. Максимальные перемещения и деформации ГТУ возникают при возбуждении на частотах, близких к собственным частотам конструкции. Для таких случаев в реальной конструкции могут быть найдены все реакции в точках крепления ГТУ к фундаменту, а также силы и моменты, возникающие в критических точках конструкции и болтовых соединениях. В критических элементах, от которых зависит работоспособность газотурбинной установки, из-за влияния гироскопических моментов напряжённо-деформированное состояние существенно изменяется. В первую очередь это касается опор силовой рамы и опор ротора. Так, например, для опор рамы возможны шестикратные перегрузки. В зонах концентрации напряжений конструкций опор ротора также возрастают напряжения.

Список литературы

1. ГОСТ 30546.1-98: Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчёта их сложных конструкций в части сейсмостойкости. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. ИПК Издательство стандартов, 1999.
2. Temis J.M., Temis M.J. Influence of Elastohydrodynamic Contact Deformations in Fluid Film Bearing on High-Speed Rotor Dynamic, *Proc. 2nd Int. Symp. on Stability Control of Rotating Machinery (ISCORMA-2)*, Gdansk, Poland (2003). PP. 150-159.
3. Temis J.M., Temis M.J. Contribution of Bearing Structure in Gas Turbine Power Unit Rotor Dynamics, *Proc. 3rd Int. Symp. on Stability Control of Rotating Machinery (ISCORMA-3)*, Cleveland, Ohio, USA (2005). PP. 570-581.
4. Темис Ю.М., Темис М.Ю., Егоров А.М., Беляев В.Е., Петров Е.В. Исследование динамики силовой турбины стационарной газотурбинной установки. «Конверсия в машиностроении». 2007. № 3. С. 19-28.

Сведения об авторах

Темис М.Ю., к.ф.-м.н., начальник сектора. Область научных интересов: междисциплинарное математическое моделирование ГТД и ГТУ; динамика и прочность конструкций; нелинейные колебания роторов.

Темис Ю.М., д.т.н., профессор, начальник отдела. Область научных интересов: междисциплинарное математическое моделирование и оптимизация; численные методы; нелинейные проблемы пластичности; динамика и прочность конструкций.

Егоров А.М., научный сотрудник. Область научных интересов: динамика и прочность конструкций.

ACCOUNT FOR ROTOR ROTATION IN SEISMIC SUSTAINABILITY ANALYSIS OF THE STATIONARY GAS TURBINE UNIT

Temis M.J., Temis J.M., Egorov A.M.

Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russia, mytemis@ciam.ru

Keywords: gas turbine unit, gyroscopic effect, seismic load.

Methodology for the development and application of the stationary gas turbine power unit (GTU) digital twin working in earthquake zone has been presented. The GTU digital twin is developed by finite element modeling with different levels of the models. Depending on the problem statement, models consist of a number of finite element GTU models, including rotor, supports, housing, piping and power frame. It is demonstrated that proposed models allow to simulate gas turbines behavior under seismic loads, taking into account rotors rotation, support stiffness, all rotating and stationary parts inertia, piping, etc.