

О Т З Ы В

на диссертационную работу Ибраева Г.Е. «Динамика вертикальных роторных систем», представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D060300 – механика

В современной технике – в промышленности и на транспорте – самое широкое применение имеют высокооборотные роторные машины. Роторы и валы являются главными элементами большинства энергетических, электрических, буровых и других машин, а также многих приборов и служат в них для передачи крутящего момента или кругового движения. Это газовые турбины, сепараторы, центробежные насосы, генераторы, компрессоры, текстильные машины, гироскопические приборы, шлифовальные станки и т. д. В большом многообразии роторных машин значительную часть занимают роторные системы с полостями, содержащими жидкость (валы турбомашин с жидкостным охлаждением, жидкостные гироскопы, центрифуги, сепараторы и др.). Роторы с полостями, частично заполненными жидкостью, относятся к неконсервативным системам.

Динамика роторов в нелинейных упругих опорах (каковыми являются, в частности, подшипники качения) изучена недостаточно. Подшипники качения можно рассматривать как модель абсолютно жёсткой опоры – шарнирной, если применяется однорядный шарикоподшипник, и защемлённой, если в каждой опоре устанавливается пара сдвоенных подшипников качения. Однако такой подход, в настоящее время, упрощая инженерную задачу, не даёт достаточно точного решения. В качестве математической модели подшипника качения важно выбирать модели, значительно полнее отражающие особенности подшипников качения, в частности, такие как погрешности геометрии, влияние зазоров, а также их изменение в процессе эксплуатации; нелинейные жёсткостные свойства; влияние центробежных сил тел качения, взаимное смещение и перекос колец подшипников; гироскопические явления; влияние сил трения в смазочном слое и факторы, определяющие толщину смазочного слоя в месте контакта колец и тел качения.

Здесь исследуется динамика ротора с полостью, частично заполненной жидкостью, установленного вертикально на упругом фундаменте, вращающегося на подшипниках качения. В связи с повышенными требованиями к точности вращения и увеличением скоростей вращения роторов, возникает необходимость учёта упругих свойств подшипников качения. Наиболее существенным фактором оказывающим влияние на динамику ротора здесь приняты нелинейные жёсткостные свойства подшипника качения, когда, в частности, радиальная податливость возникает за счёт деформаций тел качения на дорожках качения в местах контакта.

При вращении роторной машины на нелинейных опорах, например, на подшипниках качения, возникают субгармонические колебания параметрического и комбинационного типа, обусловленные различными факторами: нелинейностью жесткостных характеристик, скоростью, нагрузкой, геометрией дорожек и тел качения, чистотой контактирующих поверхностей,

величиной радиального зазора и т.д. Все это вызывает значительные трудности в точном математическом описании движения ротора и приводит к необходимости упрощения задачи. В результате имеем лишь приближенные решения, удовлетворяющие в той или иной степени требованиям, предъявляемым практической стороной вопроса.

Решение данной задачи усложнено также тем, что движение вращающегося ротора и движение жидкости в его полости взаимосвязаны, что обуславливает изменение частоты вынужденных колебаний и возникновение неустойчивости роторной системы. Решаемая система уравнений состоит из связанных уравнений движения твёрдого тела, уравнений сплошной среды и граничных условий для жидкости.

Постановка задачи является новой, где учитываются нелинейные жесткостные свойства подшипников качения, колебания фундамента, статическая неуровненность ротора, движение жидкости в роторе, которые оказывают существенное влияние на динамику ротора. Составлены и решаются совместные дифференциальные уравнения движения твердого тела и жидкости динамической системы «ротор-жидкость-фундамент». Движение жидкости полагается плоским и описывается линеаризованными уравнениями Навье-Стокса. Исследуются вынужденные и собственные колебания системы. При исследовании нелинейных вынужденных колебаний системы использованы численный метод Рунге-Кутта 4-5 порядка точности и аналитический метод эллиптических функций. Показано возникновение в данной системе резонансных явлений, обусловленных взаимным влиянием колебаний ротора, жидкости и фундамента. Исследуется влияние изменения степени заполнения, угловой скорости вращения ротора на амплитуды вынужденных колебаний и границы зон неустойчивости системы «ротор-жидкость-фундамент». Результаты исследования данной работы позволяют с достаточной точностью определить все необходимые характеристики рабочего процесса. Результаты работы подтверждают физический смысл процесса, рассматриваемого в задаче, что может служить обоснованием использования и внедрения данной математической модели в производстве.

Научный руководитель,
директор НИИ математики и механики,
д.т.н.,

Кыдырбекулы А.Б.

РАСТАЙМЫН
ел-Фараби атындағы ҚазҰУ Ғылыми кадрларды
даярлау және аттестаттау басқармасының басшысы
ЗАВЕРЯЮ
Начальник управления подготовки и аттестации
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби
Р.Е. Кудайбергенова

« _____ » _____ 20 _____ ж.г.

