

Л.Б. Алексеева, В.П. Уваров**УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЖЕСТКОГО РОТОРА
НА ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОРАХ
С ПОДШИПНИКАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Рассмотрено поведение ротора, установленного на виброизолирующие опоры с подшипниками скольжения. Опоры состоят из двухкаскадной амортизации, промежуточного тела и гасителя колебаний. В качестве первого каскада амортизации предложено использовать масляную пленку. Это существенно упрощает конструкцию виброизолирующего узла. Однако в высокооборотных роторных машинах масляный слой может оказать существенное влияние на динамику машины. Кроме того, влияние масс и жесткостей опор может существенно влиять на изменение областей устойчивости ротора. Основные трудности, возникающие при расчете устойчивости движения ротора на масляной пленки, связаны с определением жесткости и демпфирования связей. В общем случае гидродинамические силы, возникающие в масляном слое, представляют собой нелинейные функции координат и скоростей, определяющих положение ротора. Используются линеаризованные выражения для гидродинамических сил, поскольку ротор совершает малые перемещения.

Рассмотрена одномерная модель колебаний ротора на виброизолирующих опорах. Для построения областей устойчивости жесткого ротора на жестких опорах получено характеристическое уравнение четвертой степени. Условия устойчивости ищутся на основе критерия Гурвица, позволяющего получить не только границу, но и область устойчивости ротора. Определены условия устойчивости ротора на виброизолирующих опорах. Составляется соответствующее характеристическое уравнение. Для построения областей устойчивости используется метод Д-разбиений. Определена степень влияния упругоинерционных характеристик виброизолирующих опор на изменение областей устойчивости ротора. Это уменьшило вероятность возникновения автоколебаний и повышает эффективность виброизолирующих опор.

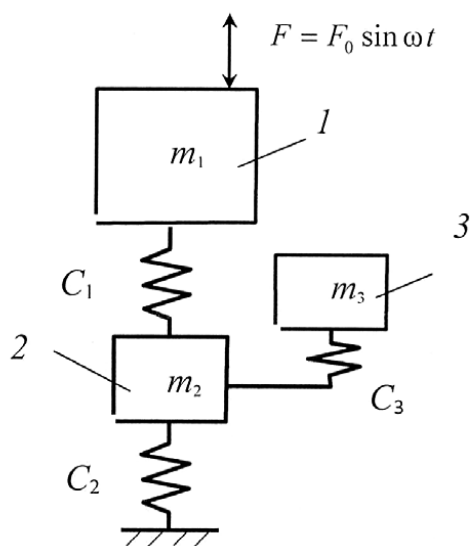
Ключевые слова: ротор, устойчивость, подшипник, масляная пленка, опора, жесткость, модель.

В высокооборотных роторных машинах существенно влияние масляной пленки на динамику подшипникового узла. В этом случае возможна потеря устойчивости и появление самовозбуждения. Опасность объясняется тем, что интенсивность колебаний может быть велика, так как амплитуды колебаний, вызванные масляной пленкой, часто превышают амплитуды резонансных колебаний плохо отбалансированных роторов, а в вале наблюдаются циклические напряжения. При этом могут возникать неприятности, связанные с возможностью ослабления прессовой посадки

сопряженных деталей, повреждений вкладышей или заеданием шипа в подшипниках [1], [2].

Основные трудности, возникающие при расчете устойчивости движения ротора на масляной пленки, связаны с определением жесткости и демпфирования связей. Кроме того, влияние масс и податливостей опор может существенно влиять на изменение областей устойчивости.

Рассмотрим одномерную модель колебаний ротора на виброизолирующих опорах, содержащих первый каскад амортизации с жесткостью C_1 , второй каскад амортизации с жестко-



Одномерная модель колебаний ротора на упругих опорах

стью C_2 , линейный гаситель (антивибратор) с жесткостью C_3 [3].

На рисунке обозначены: m_1 , m_2 , m_3 – величины масс соответственно ротора, промежуточного тела, гасителя; C_1 , C_2 , C_3 – величины жесткостей соответствующих упругих связей.

В высокооборотных роторных машинах масляная пленка проявляет свои упругие свойства, влияющие на динамику машины. Предлагается использовать масляную пленку в качестве первого каскада амортизации. Это позволяет упростить конструкцию виброизолирующего узла.

В [4] получены области устойчивости жесткого ротора на жестких опорах с масляной пленкой в плоскости параметров φ , β

$$\varphi = \frac{2\mu l_n}{m_1 \psi^3 \omega_p}; \quad \beta = \omega / \omega_p,$$

где μ – динамическая вязкость масла; l_n – длина подшипника; $\psi = \Delta/r$; r – радиус цапфы; ω – угловая скорость ротора; ω_p – рабочая скорость ротора.

Для построения областей устойчивости получено характеристическое

уравнение четвертой степени. Условия устойчивости ищутся на основе критерия Гурвица, позволяющего получить не только границу, но и область устойчивости ротора.

В работе исследовано влияние на изменение областей устойчивости виброизолирующих опор, которые содержат не только последовательно, но и параллельно включенные массы, образуя двухкаскадную амортизацию с динамическим гасителем колебаний.

На основе уравнений движения исследуемой системы получено характеристическое уравнение движения 12-ой степени.

Для построения областей устойчивости используется метод Д-разбиений [5].

В результате преобразований получена система уравнений, определяющая границу области устойчивости ротора.

$$\begin{cases} \lambda^4 C + \lambda^2 (\varphi \beta t A - \varphi^2 q B) + \varphi^2 \beta f B = 0; \\ \lambda (\lambda^2 \varphi s A + \varphi^2 \beta b B) = 0. \end{cases}$$

где λ – величина мнимых частей характеристического уравнения; b , t , s , q , f – некоторые параметры, зависящие от положения цапфы в подшипнике; A , B , C – многочлены 8-ой степени λ , коэффициенты которых зависят от параметров ротора и виброизолирующих опор.

Выполнен анализ влияния параметров виброизолирующих опор на изменение областей устойчивости ротора.

Показано, что с уменьшением жесткости вторых каскадов амортизации зона неустойчивого движения ротора расширяется. Особенно существенно это расширение для значений

$$\gamma^2 = \frac{C_2}{m_1 \omega_n^2} < 1,$$

где ω_n – частота настройки антивибратора.

Для значений $\gamma^2 > 1$ границы устойчивости ротора на опорах с двухкаскадной амортизацией практически совпадают с границами устойчивости ротора на упругих опорах с величинами жесткостей вторых каскадов амортизации.

Для $\gamma^2 < 1$ увеличение величины массы гасителя по сравнению с массой промежуточного тела уменьшает запас устойчивости ротора. Однако

для реальных значений масс виброизолирующей опоры (10–15% от массы ротора) и для диапазона $\beta < 1,1$ скоростей вращения ротора этим уменьшением можно пренебречь.

При равенстве частоты автоколебаний частоте настройки гасителя жесткий ротор может потерять устойчивость только при частоте вращения вдвое превышающей частоту настройки гасителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Л.Б., Романов А.Н. Источники вибраций и шума электрических машин / Материалы I международной научно-практической конференции «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития». – Йошкар-Ола: Научно-издательский центр «Коллоквиум», 2013. – С. 36–37.
2. Тондл А. Динамика роторов турбогенераторов. – Л.: Энергия, 1971. – 377 с.
3. Алексеева Л.Б., Уваров В.П. Оценка эффективности двухкаскадной амортизации роторных машин / Материалы I междуна-

родной научно-практической конференции «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития». – Йошкар-Ола: Научно-издательский центр «Коллоквиум», 2013. – С. 19–21.

4. Алексеева Л.Б., Уваров В.П. Особенности поведения жесткого ротора на опорах с подшипниками скольжения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 9. – С. 85–88.

5. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. – М.: Наука, 1971. – 312 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Алексеева Любовь Борисовна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: lbalek@rambler.ru, Уваров Виктор Павлович – доктор технических наук, профессор, e-mail: uvpav@rambler.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 621.313.531.3

STABLE MOTION OF RIGID ROTOR ON ANTIVIBRATION SUPPORTS WITH SLIDER BEARERS

Alekseeva L.B., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: lbalek@rambler.ru, Uvarov V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: uvpav@rambler.ru, National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The author examines behavior of a rotor mounted on antivibration supports with slider bearers. The supports consist of two-stage shock absorber, packing piece and vibration absorber. As the first stage of shock absorbing, it is suggested to use an oil film. This greatly simplifies the design of the antivibration unit. However, the oil film may essentially affect dynamics of high-speed rotor machines. Moreover, the effect of weight and rigidity of supports on the change of the stability ranges of rotors can also be high. Major difficulties in calculating stable motion of a rotor with an oil film are connected with determination of rigidity and damping effect. In a general case, hydrodynamic forces arising in the oil film represent nonlinear functions of coordinates and velocities that govern the rotor position. The author uses linearized expression for hydrodynamic forces as rotor makes fine movements. Under consideration is one-dimensional model of rotor vibration on antivibration supports. For constructing stability ranges for a rigid rotor on rigid supports, a characteristic biquadratic equation is derived. The search of the stability uses the Hurwitz criterion that allows finding both the boundary and area of the stability range of rotor. Stability conditions for rotor on antivibration supports are determined, and the relevant characteristic equation is constructed. The stability ranges are constructed using

the Division Method D. The level of the effect exerted by elastic-inertia characteristics of antivibration supports on the change of the rotor stability ranges is assessed. This reduces the self-excited vibration probability and enhances efficiency of antivibration supports.

Key words: rotor, stability, bearer, oil film, support, rigidity, model.

REFERENCES

1. Alekseeva L.B., Romanov A.N. *Materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tekhnicheskie nauki: sovremennye problemy i perspektivy razvitiya»* (Proceedings of I International Conference on Engineering Sciences: Problems and Prospects), Ioshkar-Ola, Nauchno-izdatel'skii tsentr «Kollokvium», 2013, pp. 36–37.

2. Tondl A. *Dinamika rotorov turbogeneratorov* (Dynamics of turbine-type generator rotors), Leningrad, Energiya, 1971, 377 p.

3. Alekseeva L.B., Uvarov V.P. *Materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tekhnicheskie nauki: sovremennye problemy i perspektivy razvitiya»* (Материалы I международной научно-практической конференции «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития»), Ioshkar-Ola, Nauchno-izdatel'skii tsentr «Kollokvium», 2013, pp. 19–21.

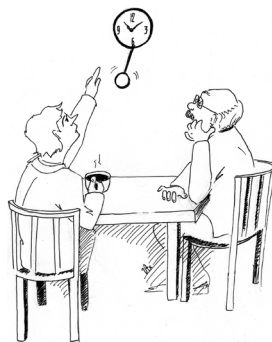
4. Alekseeva L.B., Uvarov V.P. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 9, pp. 85–88.

5. Merkin D.R. *Vvedenie v teoriyu ustoychivosti dvizheniya* (Introduction to the motion stability theory), Moscow, Nauka, 1971, 312 p.



УМНАЯ КНИГА – ПРЕДМЕТ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ

УДИВЛЕНИЕ ДИЛЕТАНТА



Да, много на свете удивительного

Невежественный человек часто позиционирует себя среди умных и образованных, верит в небылицы, а сложные теории не желает знать.

Раз в неделю, а то и чаще в научно-технические издательства приходят авторы, которые мечтают удивить и изменить научный мир. Они изобретают вечный двигатель, доказывают теорему Ферма, заново классифицируют науки, открывают новые физические законы, низвергают теории Ньютона, Эйнштейна, Дарвина, Гука. Такие граждане напористы, инициативны, имеют пробелы в образовании, да и спорить с ними небезопасно. Издатель N, получивший заочное библиотечное образование, слабо разбирающийся в естественных и технических науках, в таких случаях вынужден бегать за консультациями к специалистам, которые посмеиваются над невеждой, но растолковывают азы наук.

В один не лучший для него день N беседовал с очередным «ученым», написавшим удивительную брошюру. Она была посвящена радианному измерению углов. «Представляете, – говорил посетитель, – единица может быть углом. Это изменяет наши взгляды на систему измерений». Для N это тоже было открытием. Ведь он уже было собрался печатать брошюру, но на всякий случай спросил у математика совета. Тот, насмеявшись вдоволь, объяснил, что про радианы рассказывают в восьмом классе, а автор брошюры то ли прогулял урок, на котором объясняли этот материал, то ли забыл его. N понимал, что нужно учиться или пригласить на работу помощника с нормальными знаниями, но все не доходило руки.

В мире много дилетантов, которых удивляют простейшие явления и законы природы. Поэтому полноценное издательство вынуждено иметь в штате специалистов по направлениям, а также ограничивать сферу своей деятельности основами отраслевой науки.

Продолжение на с. 290