

УДК 621.828.3

О.О. ПОЛУШКИН

БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ, ДОПУСКАЮЩИХ ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ КОНЕЧНЫЕ ОСЕВЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Обоснована неэффективность существующей технологии балансировки рассматриваемого типа роторов с конечными изменениями геометрии. Предложена технология балансировки, обеспечивающая уравновешенность ротора с конечными осевыми перемещениями сборочных единиц при любом их относительном положении.

Ключевые слова: ротор, конечные изменения геометрии, балансировка.

Введение. Конечные изменения геометрии ротационного агрегата выражаются в том, что отдельные его детали (сборочные единицы) в процессе функционирования машины могут иметь дискретные или непрерывные конечные относительные перемещения. Типовыми примерами таких агрегатов могут служить:

- карданные валы со шлицевыми соединениями, шпиндели станков, клиноременные вариаторы автомобилей и зерноуборочных комбайнов, эти агрегаты имеют при функционировании относительные осевые конечные перемещения сборочных единиц (тип 1);
- агрегаты, сборочные единицы которых связаны муфтами (кулачковыми, электромагнитными, предохранительными), фрикционными сцеплениями; эти агрегаты допускают конечные относительные угловые перемещения сборочных единиц (тип 2);
- ротационные агрегаты редко встречающиеся, например, переключатели коробок скоростей, сборочные единицы которых при функционировании допускают одновременно как осевые, так и угловые конечные относительные перемещения (тип 3).

Балансировка всех типов таких агрегатов осуществляется, как правило, при одном фиксированном относительном положении их сборочных единиц, чаще других встречающемся при функционировании. Однако любые относительные перемещения сборочных единиц сбалансированного таким образом ротационного агрегата приводят к его разбалансировке, характеристики которой в настоящее время не оцениваются из-за отсутствия необходимых методик, также не разработаны методики их устранения. Отмеченные разбалансировки могут создавать значительные дисбалансы, приводящие к динамическим нагрузкам и вибрациям в работающей машине. Поэтому существует проблема балансировки роторов с конечными изменениями геометрии [1].

Постановка задачи. Решается задача моделирования неуравновешенности роторов с конечными изменениями геометрии типа 1 и разработка на этой основе технологии балансировки, гарантирующей их требуемую уравновешенность при любом возможном относительном положении сборочных единиц. При этом балансировка такого ротора при определенном фиксированном относительном положении его сборочных единиц выполняется идеально с нулевыми остаточными дисбалансами в плоскостях коррекции. Неуравновешенность сбалансированного таким образом ротора в эксплуатации появляется только после изменения относительного положения его сборочных единиц. Иными источниками неуравновешенности (например, изменение зазора сопряжения сборочных единиц в различном их относительном положении, различие эксцентриситета и перекоса посадочного места перемещаемой сборочной единицы и др.) пренебрегаем.

Решение аналогичных задач для роторов с конечными изменениями геометрии других типов – предмет дальнейших исследований.

Решение задачи. Рассмотрим жесткий ротор с изменением геометрии по типу 1. На рис.1 представлена схема такого ротора, где показаны возможные положения (сплошной линией и пунктиром), которые занимает сборочная единица j при относительном осевом ее перемещении l_j по

базовой сборочной единице 1. Балансировка такого ротора при фиксированном l_j (например, $l_j = 0$) недостаточна, так как с изменением l_j достигнутая при $l_j = 0$ уравновешенность ротора нарушается.

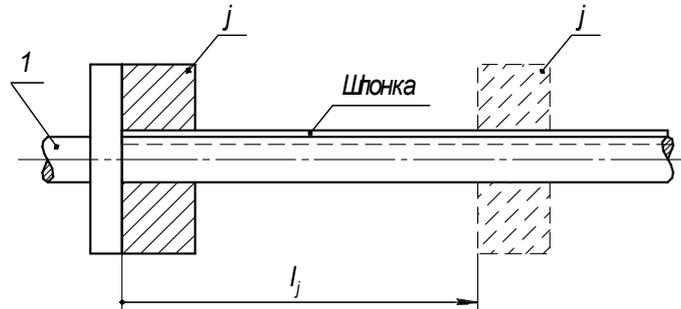


Рис.1. Ротор, допускающий относительные конечные осевые перемещения сборочной единицы

Обоснуем данное утверждение (рис.2,а). Всю совокупность начальных дисбалансов каждой из сборочных единиц 1 и j приведем к векторам \vec{D}_1, \vec{D}_j , приложенным к соответствующим сборочным единицам в точке их контакта при $l_j = 0$, и моментным дисбалансам $\vec{M}_{D1}, \vec{M}_{Dj}$ каждой из этих сборочных единиц. Не рассматривая моментные дисбалансы $\vec{M}_{D1}, \vec{M}_{Dj}$ (они корректируются балансировкой ротора при $l_j = 0$ и их уравновешенность не нарушается с изменением l_j), представим уравновешенную систему дисбалансов:

- $\vec{D}_{1j} = \vec{D}_1 + \vec{D}_j$ - результирующий вектор начальных дисбалансов ротора при $l_j = 0$;
- $\vec{D}_{K1} = -\vec{D}_1 l_{2j} / l = \vec{D}_{Kj1} + \vec{D}_{Kl2}$ - корректирующий дисбаланс в плоскости коррекции 1;
- $\vec{D}_{K2} = -\vec{D}_j l_{1j} / l = \vec{D}_{Kj2} + \vec{D}_{Kl1}$ - корректирующий дисбаланс в плоскости коррекции 2.

При этом

$$\vec{D}_{Kj1} = -\vec{D}_j l_{2j} / l; \vec{D}_{Kj2} = -\vec{D}_j l_{1j} / l; \vec{D}_{Kl1} = -\vec{D}_1 l_{2j} / l; \vec{D}_{Kl2} = -\vec{D}_1 l_{1j} / l.$$

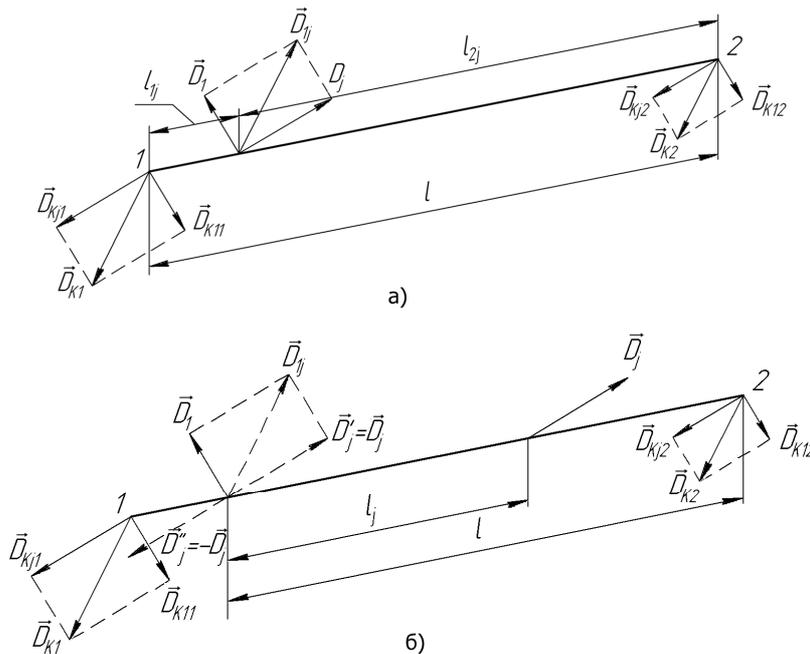


Рис.2. К обоснованию технологии балансировки ротора с конечно-изменяемой геометрией по типу 1

На рис.2,б представлен тот же сбалансированный ротор с j -й сборочной единицей, сдвинутой вдоль оси ротора на расстояние $l_j \neq 0$. Сплошной линией показаны все исходные и корректирующие дисбалансы, введенные при проведении балансировки. Условно вводя (пунктирная линия) уравновешивающие друг друга дисбалансы $\vec{D}'_j = \vec{D}_j, \vec{D}''_j = -\vec{D}_j$ в точке $l_j = 0$ на оси ротора, отметим, что система дисбалансов $\vec{D}_{Kj1}, \vec{D}_{K11}, \vec{D}_1, \vec{D}'_j = \vec{D}_j, \vec{D}_{Kj2}, \vec{D}_{K12}$ является уравновешенной. Оставшиеся дисбалансы \vec{D}_j и $\vec{D}''_j = -\vec{D}_j$ создают неуравновешенный момент $\vec{M}_D = \vec{D}_j l_j$ дисбалансов, что и доказывает факт разбалансировки уравновешенного ротора после относительного осевого смещения его сборочных единиц.

Отмеченная разбалансировка предопределяет необходимость использования следующей технологии балансировки ротора (тип 1) конечного изменения геометрии:

1) сбалансировать ротор как жесткий по традиционной технологии [1] динамической балансировки в двух плоскостях коррекции при $l_j = 0$;

2) сдвинуть j -ю сборочную единицу на фиксированное максимально возможное расстояние l_j ;

3) запустить вращение ротора на балансировочном станке и после отработки измерительного цикла зафиксировать в плоскостях коррекции 1, 2 значения $D_{j1} \approx D_{j2}$ и углы α_{j1} и $\alpha_{j2} \approx \alpha_{j1} + \pi$ дисбалансов, корректирующих возникший от перемещения j -й сборочной единицы моментный дисбаланс. Если D_{j1}, D_{j2} не превосходит значений допустимых дисбалансов в плоскостях коррекции 1, 2, влияние смещения сборочной единицы j на неуравновешенность сбалансированного (п.1) ротора незначительно; ротор снять с балансировочного станка;

4) осреднить характеристики установленных корректирующих дисбалансов:

$$D_{Kj0} = 0,5(D_{j1} + D_{j2}), \quad \alpha_{Kj0} = 0,5(\alpha_{j1} + \alpha_{j2} - \pi);$$

5) найти значения корректирующих дисбалансов в плоскостях коррекции, совпадающих с контактирующими торцовыми поверхностями сборочных единиц j и 1, $D_{Kj} = D_{Kj0} l / l_j$;

6) установить корректирующие дисбалансы D_{Kj} в торцовой плоскости сборочной единицы 1 с углом φ_{Kj0} , а в торцовой плоскости сборочной единицы j с углом $(\varphi_{Kj0} + \pi)$;

7) повторить операцию (п.3) до выполнения ее условия.

Сбалансированный по такой технологии ротор не получит недопустимой разбалансировки при любом относительном расположении сборочных единиц j и 1.

Если в конструкции ротора имеется несколько сборочных единиц, допускающих при работе машины конечные перемещения относительно базовой сборочной единицы, то операции (пп.2-7) последовательно повторяются для каждой из этих сборочных единиц.

Если в результате реализации операции (п.3) представленной выше технологии для выборки из десяти роторов будут выполняться условия завершения этой операции, перемещения j -й сборочной единицы относительно сборочной единицы 1 следует признать малыми, и потому при балансировке такой конструкции следует ограничиться лишь п.1 представленной технологии.

Заключение. Относительные конечные осевые перемещения l_j каждой j -й сборочной единицы ротора относительно его базовой сборочной единицы приводят к появлению у сбалансированного при определенном l_j ротора моментной неуравновешенности. Использование предложенной технологии балансировки ротора с рассматриваемым типом конечных изменений геометрии устраняет эту неуравновешенность при любом значении l_j .

Библиографический список

1. Справочник по балансировке / М.Е. Левит, Ю.А. Агафонов, Л.Д. Вайнгортин и др.; под общ. ред. М.Е. Левита, – М.: Машиностроение, 1992. – 464 с., ил.

Материал поступил в редакцию 18.11.10.

References

1. Spravochnik po balansirovke / M.E. Levit, Yu.A. Agafonov, L.D. Vaingortin i dr.; pod obsch. red. M.E. Levita, – M.: Mashinostroenie, 1992. – 464 s., il. – In Russian.

O.O. POLUSHKIN

ROTOR BALANCING PERMITTING FINITE RELATIVE AXIAL SHIFTS OF SUBUNITS

Inefficiency of the current balancing technology of the considered rotor types with the finite geometry changes is proved. The balancing technology providing rotor balance with finite axial movements of the subunits in their any relative position is offered.

Key words: rotor, finite geometry changes, balancing.

ПОЛУШКИН Олег Олегович (р. 1980), докторант кафедры «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (2005). Окончил Донской государственный технический университет (2002).

Область научных интересов: динамика машин, балансировка ротационных агрегатов.

Автор 12 публикаций.

grunt@mail.ru

Oleg O. POLUSHKIN (1980), Postdoctoral student of the Theory of Mechanisms and Machines Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (2005). He graduated from Don State Technical University (2002).

Research interests: machine dynamics, rotational systems balancing.

Author of 12 publications.