

Алехин Сергей Николаевич

канд. техн. наук, доцент, профессор

Алехин Алексей Сергеевич

канд. техн. наук, доцент

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
г. Шахты, Ростовская область

DOI 10.21661/r-118944

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОДВЕСНУЮ ЧАСТЬ

Аннотация: авторами данной статьи рассмотрен вопрос исследования случайных колебаний подвесной части стиральной машины барабанного типа. Представлена система, описывающая динамические характеристики процесса колебаний неуравновешенного ротора в подвесной части машины и его устойчивого состояния при случайных внешних воздействиях. Установлена зависимость величины эксцентриситета от диаметра барабана.

Ключевые слова: колебания стиральных машин, эксцентриситет, резонанс, уравнивание, виброактивность, центробежный отжим, вибрация, динамика.

В настоящее время практически все работы, посвященные исследованию динамики стиральных машин, базируются на предположении о детерминистическом характере действия возмущающих сил. Вместе с тем, как показал анализ формирования неуравновешенных масс и сил при отжиме, а также математических моделей, описывающих динамику стиральных машин, разброс динамических характеристик в зависимости от условий проведения процесса центробежного отжима весьма существенен. Это, безусловно, приводит к необходимости учета случайного характера силовых переменных воздействий на подвесную часть при исследовании динамики стиральных машин.

Сложность описания колебательного процесса при случайных силовых воздействиях обусловлена наличием переменной массы изделий при отжиге, случайным характером их распределения по периферии барабана, изменением величины эксцентриситета e центра масс текстильных изделий при отжиге и рядом других параметров.

Представленная работа содержит две взаимосвязанные части. В первой из них решена слабо связанная система дифференциальных уравнений, полученная в [1] и имеющая следующий вид:

$$\begin{aligned} M\ddot{\zeta} + Nb_z\dot{\zeta} + Nc_z\zeta &= U_1(t)\omega^2 \text{Sin } \omega t; \\ I_Z\ddot{\gamma} + N(b_Y\xi_1^2 + b_X\eta_1^2)\dot{\gamma} + N(c_Y\xi_1^2 + c_X\eta_1^2)\gamma &= U_2(t)\omega^2 l_X \text{Cos } \omega t; \\ M\ddot{\xi} + Nb_x\dot{\xi} + Nc_x\xi &= 0; \\ I_Y\ddot{\beta} + N(b_X\zeta_1^2 + b_Z\xi_1^2)\dot{\beta} + N(c_X\zeta_1^2 + c_Z\xi_1^2)\beta &= U_2(t)\omega^2 l_X \text{Sin } \omega t; \quad (1) \\ M\ddot{\eta} + Nb_Y\dot{\eta} + Nc_Y\eta &= U_1(t)\omega^2 \text{Cos } \omega t; \\ I_X\ddot{\alpha} + N(b_Z\eta_1^2 + b_Y\zeta_1^2)\dot{\alpha} + N(c_Z\eta_1^2 + c_Y\zeta_1^2)\alpha &= 0. \end{aligned}$$

Эта система описывает динамический процесс колебаний неуравновешенного ротора в подвесной части машины и его устойчивого состояния при случайных внешних воздействиях, где случайные функции $U_1(t) = m(t) \cdot e(t)$, $U_2(t) = m(t) \cdot e(t) \cdot l_x(t)$. Можно видеть, что величина $e(t)$ эксцентриситета центра масс отжимаемых изделий есть один из главных факторов, влияющих на неуравновешенность барабана стиральной машины и асимптотику колебаний [2], так как именно поперечные линейные колебания роторных систем наиболее значительны.

В первой части нами также рассмотрен один из методов, позволяющих изучить поведение общего решения исходной системы уравнений «в целом» без перехода к одному дифференциальному уравнению, решения которых, как правило, приводит к громоздким в вычислительном отношении процедурам. Так как каждое из дифференциальных уравнений в системе (1) линейно, то достаточно рассмотреть случай, когда начальные условия является нулевым. Действительно,

переход к любым другим начальным условиям эквивалентен изменению правых частей уравнений в системе (1) на некоторое слагаемое, которые будут неслучайными функциями времени, если начальные условия неслучайны, и, соответственно, случайными функциями времени, если начальные условия решений и их скоростей и ускорений представляю случайные процессы. Как в том, так и в другом случае вид уравнения остается без изменений. Изменяются только математические ожидания, или же математические ожидания и корреляционные функции случайных воздействий. А так как математические ожидания, корреляционные функции и корреляционные функции связи случайных процессов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ нам известны (достаточно иметь одну из реализаций правых частей системы (1) в силу эргодичности процессов), то вероятностны характеристики искомого решения были нами найдены; здесь их выражения опущены для краткости изложения.

Отметим, что для полной реализации первой части авторами был разработан действующий экспериментальный стенд для выполнения экспериментальной части и проверки адекватности модели (сопоставление полученных данных с результатами качественного анализа), полное описание которого приводится в монографии [3].

Вторая часть работы посвящена выбору оптимальных параметров в рассматриваемой задаче со многими критериями. Как видим, данная задача относится к классу многокритериальных, так как при выборе наилучшего варианта решения приходится учитывать многообразных требований, предъявляемых к машине, и среди этих требований встречаются и противоречащие друг другу.

Нахождение оптимальных решений на основе качественных методов позволяет более достоверно исследовать динамику стиральных машин барабанного типа с целью выбора их рациональных конструктивных параметров, обеспечивающих минимальный уровень вибрации подвесной части машины.

Как видим, исходная система (1) дифференциальных уравнений описывает поведение неуравновешенного ротора в подвесной части машины с шестью сте-

пенями свободы. В качестве обобщенных координат приняты линейные перемещения $q_1 = \xi$, $q_2 = \eta$, $q_3 = \zeta$, и три угла поворота $q_4 = \alpha$, $q_5 = \beta$, $q_6 = \gamma$ вокруг начала координат в заданных направлениях.

Здесь M – масса подвесной части машины, b_i – коэффициенты демпфирования, c_k – коэффициенты жесткости упругого элемента, I_x – перемещение вдоль оси ox , N – число демпферов и пружин, ω – частота колебаний внешней вынуждающей силы, e – эксцентриситет (подробнее численные значения параметров см. таблицы в диссертационной работе [1]).

Наконец, источником возмущающих сил считаем накопленную погрешность $\Delta = f(t)$ (правую часть системы (1)) в рабочем диапазоне $f_{нач} \leq f(t) \leq f_{кон}$ (конкретные значения [1]), причем

$$\bar{\Gamma} \equiv \frac{1}{f_{кон} - f_{нач}} \cdot \int_{f_{нач}}^{f_{кон}} F(f) df$$

Стенд был построен нами для исследования процесса снижения виброактивности по различным выходным вероятностным характеристикам в подвесной части стиральной машины в различных точках и на различных значениях величины эксцентриситета. Естественно, что данная задача оказалась многокритериальной.

Были составлены таблицы испытаний, для чего найдены пределы варьирования каждого из параметров так, чтобы отличие их от параметров исходной модельной системы, приведенных в диссертации [1], не превосходило 8%. Было проведено 512 испытаний, средняя продолжительность каждого из них составляет $t = 1$ мин. с учетом всех критериев качества функционирования агрегата стиральной машины.

Было установлено, что один из главных параметров является величина эксцентриситета e , причем его оптимальное значение $e \approx 0,1D_b$, где, в частности, диаметр барабана $D_b = 0,47$ м для стиральной машины Indesit WISL 105 X.

Список литературы

1. Алехин С.Н. Теоретические и экспериментальные исследования динамики стиральных машин барабанного типа: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / С.Н. Алехин. – М., 2000. – 290 с.

2. Фетисов И.В. Асимптотика поведения эксцентриситета центра масс изделий при отжиге / И.В. Фетисов, С.Н. Алехин, А.С. Алехин // Города России: проблема строит., инженер. Обеспеч.: Сборник статей XII Междунар. научно-практич. Конференции. – Пенза, 2010. – С. 149–152.

3. Фетисов И.В. Математическое моделирование снижения виброактивности стиральных машин барабанного типа методом дискретизации: Монография / И.В. Фетисов, С.Н. Алехин, А.С. Алехин, Д.П. Махов [и др.]; ГОУ ВО «ЮР-ГУЭС», 2009. – 135 с.