

ред-вправо); 2) включить 1-ю передачу (M_1 вперед-влево); 3) включить сцепление (M_3 назад-влево), и разгон на 1-ой передаче; 4) выключить 1-ую передачу (M_1 назад-влево); 5) включить 2-ую передачу (M_2 вперед-вправо); 6) выключить 2-ую передачу (M_2 назад-влево). Такая последовательность работы механизмов M_i в 6-ти тактах запишется шифром тактограммы 313122, которая реализуется, как видно из табл. 2 с одним элементом памяти П. Перестановкой номеров i -х M_i получается еще 5 добавочных вариантов реальных тактограмм (323211, 212133, 232311, 121233, 131322). Таким образом схема АКП может обеспечить 6 указанных вариантов шифров тактограмм. Эти варианты можно выдавать любым студентам в обычных курсовых проектах по ТММ и они входят в число 100 типовых в пособии [2].

УДК 621-752.8

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВИБРОИЗОЛИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТОВ МАШИН НА ОБЪЕКТАХ С КИНЕМАТИЧЕСКИМ ВИБРОВОЗМУЩЕНИЕМ

В. В. Кудин В.В., Э.И. Астахов

Введение в современный учебный курс «Теория механизмов и машин» таких разделов как «Колебания в механизмах и машинах», «Уравновешивание и виброзащита машин» требует от преподавателя не только полного и краткого изложения сравнительно сложных вопросов учебной рабочей программы, но и умения показать прикладное значение этих разделов как для улучшения динамических и виброакустических параметров самих машин, так и для защиты от вибраций окружающей среды и человека. В инженерных вузах очень ценно оживить теоретическое изложение учебного материала не только конкретными примерами из техники по соответствующей специальности студента, но и реальными примерами прикладных работ на производстве, где принимал участие или ранее работал преподаватель.

Одним из таких примеров виброзащиты прецизионного оборудования от повышенных вибраций производственных цехов являются разработанные ранее авторами виброизолированные фундаменты для установок лазерной резки листовых материалов [1,2,3]. В данном случае имеем типичный пример виброзащиты машины при кинематическом вибровозмущении основания (или пола цеха), изложенный ранее авторами в учебном пособии [4]. Объектом виброзащиты является прецизионные лазерные установки, а источниками

кинематического вибровозмущения являются рабочие площадки в прессовых цехах, получающие ударновибрационное возмущение от соседнего прессового оборудования.

Согласно монтажных требований под лазерные комплексы фирм BISTRONIC и TRUMPF для них необходим отдельный монолитный фундамент в виде плоской железобетонной плиты с размерами в плане (10,5×12,5) м и толщиной не менее 500мм, на которой монтируется все основное и вспомогательное оборудование. Допустимые вибрации на фундаментах этих установок регламентируются такими параметрами: для установок фирмы BISTRONIC максимальная амплитуда колебаний не должна превышать $[A]=0,01$ мм; для установок фирмы TRUMPF максимальное виброускорение не должно превышать $[a]=0,1$ $g=0,981$ м/с. Железобетонные плиты фундаментов должны располагаться на сухом эластичном основании из слоев досок, битума, песка и лесовой глины, что представляет собой естественную виброизоляцию плит фундаментов от вибраций соседнего оборудования. Однако, как показали результаты измерения вибрации на работающей установке BISTRONIC, такое устройство виброизоляции не дает эффекта: уровни замеренных вибраций на плите фундамента и на соседних точках пола цеха оказались почти одинаковыми. Кроме того, такой массивный фундамент размерами (10,5×12,5×0,5)м для всего оборудования лазерного комплекса требует большого объема железобетона, и является более дорогостоящим. Поэтому задача состояла в оптимизации параметров и размеров виброизолированного фундамента при минимальном объеме стройматериалов и объема строительного-монтажных работ.

На первом этапе были экспериментально исследованы вибрационные характеристики рабочих площадок, на которых планировался монтаж оборудования лазерных комплексов. Для определения амплитуд «А» виброперемещений использовался виброметр ВИП—2 с электроиндукционным датчиком Д21Ф, позволяющий измерять среднеквадратичные значения размаха $N_{\text{ск}}=2A_{\text{ск}}$ виброперемещений, по которым рассчитывались действительные значения амплитуд колебаний $A = \sqrt{2} N_{\text{ск}} / \approx 0,707 N_{\text{ск}}$. Для определения амплитуд виброускорений $a_{\text{макс}}$ использовался измеритель шума и вибраций ВШВ-003-М2 с пьезодатчиком ДН-3, позволяющей измерять среднеквадратичные значения виброускорений $a_{\text{ск}} \approx 0,707 a_{\text{макс}}$, как по общему уровню, так и в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16, 31, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц. Это позволяет проводить спектральный анализ действующих вибраций. Измерения вибраций на рабочих площадках проводились в трех направлениях по осям X, Y, Z (ось X горизонтальная поперечная, ось Y — горизонтальная продольная вдоль длинной стороны площадки, ось Z — вертикальная (перпендикулярная плоскости площадки)). Результаты измерения вибраций

показали, что вибрации на площадках являются полигармоническими в полосе частот от 4 до 125 Гц с максимальными значениями в диапазоне (1631) Гц. Это объясняется тем, что рабочие площадки под лазерные комплексы удалены на десятки метров от источников вибраций (прессового оборудования), поэтому прилегающими грунтами ослабляются более сильно высокочастотные составляющие (свыше 100 Гц), а низкочастотные составляющие вибраций передаются почти без ослабления. Максимальные значения вибраций значительно превысили допустимые по монтажным условиям: $A_{\max} = 0,035 \text{ мм} > > [A] = 0,01 \text{ мм}$, $a_{\min} = 1,5 \text{ м/с}^2 > [a] = 0,98 \text{ м/с}^2$. Причем вибрации по вертикальной оси Z значительно превышали вибрации по осям X и Y. На основании этих результатов была уточнена задача виброзащиты: снижение вертикальных вибраций рабочих площадок в диапазонах частот (16 ÷ 31) Гц.

Наиболее распространенным и эффективным (при широкополосной полигармонической вибрации) методом виброзащиты является виброизоляция, заключающаяся в размещении между источником вибровозмущения и защищаемым объектом упругого элемента — виброизолятора. В подобных случаях в технике используются виброизолированные фундаменты, которые представляют монолитную плиту с жестко закрепленным на ней защищаемым оборудованием и изолированную от вибрирующей площадки пола цеха упругими элементами (резиновыми, пластмассовыми, резинометаллическими, металлическими (сетчатыми, пружинными и др.)). Как показано в работе [3] виброизолированный фундамент в первом приближении может быть представлен типовой одномассовой колебательной системой с 6-ю степенями свободы (три линейных по X, Y, Z и три угловых вокруг X, Y, Z) при кинематическом вибрационном возмущении основания. С учетом преобладающих вертикальных вибраций можно для предварительных расчетов оставить одну линейную степень свободы по Z.

Как известно [4], виброизоляция дает положительный эффект по уменьшению вибраций, если собственная частота колебаний упругой системы (виброизолированного фундамента) в несколько раз (>2) меньше низшей частоты возмущающего воздействия. Принимая по результатам экспериментальных измерений преобладающую низшую частоту кинематического вибровозмущения $f_n = (10 \div 30) \text{ Гц}$ из условия $f_c \ll f_n$ при оптимально низкой амплитуде колебаний $A_{\max} < [A]$, рассчитана необходимая собственная частота колебаний виброизолированного фундамента $f_c \approx 3,5 \text{ Гц}$. Результаты более точного расчета методом конечных элементов в работе [2] подтвердили полученную приближенную величину ($f_c = 3,56 \text{ Гц}$). По этой f_c и известной массе плиты фундамента с оборудованием рассчитана приведенная суммарная жесткость системы виброизоляторов. Для обеспечения такой низкой частоты f_c и условий долговеч-

ности (не менее 20 лет) в качестве виброизоляторов взяты серийные металлические цилиндрические пружины ТЭ 30.35.30 жесткостью 2.3350Н/мм. Таким образом главное условие оптимизации (минимизация амплитуды вибро смещения A_{\max} [A]) обеспечено путем виброизоляции фундаментной плиты (размерами 10,5×12,5×0,5)м с помощью пружинных виброизоляторов, размещенных между нижней поверхностью плиты и забетонированным коробом рабочей площадки.

Другое условие оптимизации (минимизация объема фундаментной плиты) было достигнуто за счет уменьшения размеров фундаментной плиты в плане. Изучение монтажной документации лазерных комплексов показало, что для исключения смещения лазерного луча относительно обрабатываемой заготовки необходимо, чтобы на одном жестком фундаменте находился модуль и устройство подачи и фиксации заготовки. Вспомогательное оборудование (шкафы электрооборудования, погрузочный манипулятор, газовые баллоны и др.) не оказывают влияния на точность обработки и, следовательно, не нуждаются в виброизоляции. Поэтому было предложено делать виброизолированный фундамент только под основное оборудование (лазерный модуль и устройство фиксации заготовки) лазерного комплекса. Это позволило уменьшить размеры виброизолированной фундаментной плиты в плане до (2,9×7,8)м, что обеспечило снижение объема железобетона в 4,8 раза без снижения качества лазерной обработки.

Следующее условие оптимизации (минимизация угловых смещений фундаментной плиты. $\min(Y_x, Y_y, Y_z)$) достигнуто путем совмещения центра масс фундаментной плиты с оборудованием и центра жесткости виброизоляторов. Обычно виброизоляторы размещают на установочной плоскости равномерно. Однако в данном случае массы основного лазерного модуля и устройства фиксации заготовок значительно отличаются и распределены на фундаментной плите неравномерно. Поэтому из условия равенства статических моментов масс найдено положение общего центра масс и рассчитано такое неравномерное размещение пружинных изоляторов, при котором центр жесткости 24-х виброизоляторов расположился по оси Z основного вибровозмущения, проходящей через центр масс. Это же обеспечило одинаковую статическую нагрузку всех пружинных изоляторов.

Литература

1. Кудин В.В., Астахов Э.И. Схемы виброизолированных фундаментов под установку лазерной резки. Материалы международной научно-технической конференции «Вклад ВУЗовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых

технологий и прогрессивных методов обучения», посвященной 80-ти летию Белорусской государственной политехнической академии. В 10-ти частях. Часть 5.— Мн.: БГПА, 2000, с. 7.

2. Босаков В.В., Кудин В.В., Астахов Э.И. Исследование собственных и вынужденных колебаний виброизолированного фундамента методом конечных элементов. Там же с. 13.

3. Кудин В.В., Астахов Э.И. Расчет виброизолированных фундаментов под прецизионное оборудование. Материалы Республиканского семинара преподавателей кафедр теоретической механики, теории механизмов и машин, сопротивления материалов ВУЗов Беларуси. Минск, 15–17 июля 2000г. — Мн.: Технопринт, 2001, с.73–75.

4. Астахов Э.И., Кудин В.В. Колебания в машинах и методы их устранения. Учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей.— Мн.: БГПА, 1997. — 130 с.

УДК 621. 01

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ УПРУГИХ ЗВЕНЬЕВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМОБИЛЯ С УЧЕТОМ ИХ ЖЕСТКОСТИ И ДИССИПАТИВНОСТИ

В. И. Зинкевич, А. М. Белоус

При конструировании машинного агрегата необходимо получить такие законы движения его звеньев, осуществление которых обеспечит выполнение необходимого рабочего процесса. Не учтенные при расчете деформации звеньев и зазоры в кинематических парах приводят к отклонениям законов движения звеньев от программных, т.е. динамическим ошибкам. Учет упругости звеньев и их сочленений позволит на начальной стадии проектирования решать некоторые задачи, без которых невозможно создание высокопроизводительных и надежных машин.

При построении динамической модели упругой машины необходимо, в первую очередь, учитывать упругость наиболее податливых звеньев машины. Практика инженерных расчетов показывает, что во многих случаях наиболее податливыми оказываются звенья передаточных механизмов. Звенья исполнительных механизмов, а также системы двигателя оказываются более жесткими. С другой стороны, массы звеньев передаточного механизма часто оказываются незначительными по сравнению с массами остальных движущих частей машины и их величиной в первом приближении можно пренебречь. Учет