

**Колот А. В.,**

д. т. н., доцент кафедры МСИ Донбасской государственной машиностроительной академии, г. Краматорск,

**Колот В. А.,**

к. т. н., генеральный директор ЗАО «МИНЭТЭК», г. Краматорск

## Перспективы экономии энергоресурсов при изготовлении деталей подвижного состава железнодорожного транспорта

**За последние годы в машиностроительных отраслях получило распространение использование деформационных методов борьбы с нежелательными проявлениями остаточных напряжений. Они характеризуются средствами преимущественно механического воздействия на остаточное напряженное состояние детали и включают: метод статического нагружения; метод, основанный на растягивании деталей; метод, основанный на действии взрывной волны; метод ультразвукового влияния; метод, основанный на действии переменного магнитного поля; звуковое деформационное воздействие; вибрационную резонансную обработку.**

**К**аждый из указанных методов имеет свою область применения. Наиболее универсальной в применении является вибрационная низкочастотная резонансная обработка.

В заграничной и отечественной практике вибрационную обработку относят к методам искусственного (деформационного, форсированного) старения. Этот метод, особенно осуществляемый в резонансном режиме, может быть отнесен (по классификационным признакам, в силу механизма релаксации и перераспределения остаточных напряжений) к особой категории деформационного старения.

Отечественный и зарубежный опыт применения этой технологии насчитывает более чем пятидесятилетний период ее поступательного развития. В то же время на предприятиях железнодорожного транспорта Украины, в отличие от европейских, вибрационные методы старения не применяются. Основная причина — недостаточная информированность о процессах, происходящих в деталях под воздействи-

ем резонансных динамических колебаний, отсутствие надежного и достоверного контроля и предубежденность производителей о снижении запаса прочности деталей, подвергнутых вибростарению.

Исследованиями, проведенными авторами, показано, что виброобработка может быть надежным и эффективным средством повышения качества нежестких деталей. А при применении рациональных режимов виброобработки с использованием компьютерной диагностики обрабатываемых деталей существует возможность сделать этот процесс контролируемым и расширить потенциальные возможности процесса на такие области, как управление точностью формы и размеров, повышение прочности конструкции [1, 2].

Все деформационные методы (при рациональных воздействиях на деталь, а также естественный метод старения) снижают величину остаточных напряжений всего до 15%, но значительно увеличивают степень их стабильности, в т. ч. за счет перераспределения напряжений.

Для решения технологических задач разработано универсальное технологическое компьютеризированное оснащение четвертого поколения (рис. 1).

В состав технологического оснащения входит:

- виброустановка ВСОИ-2100М (а) (рис. 2);
- вибровозбудитель эксцентриковый (б);
- датчики в количестве трех шт. (в) с собственным контроллером (г);
- вибродемпфирующие опоры (д).

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ МОД. ВСОИ 2100М

1. Диапазон регулирования возмущающей силы —  $(0,15 \div 2,1) \times 10^4$  Н
2. Диапазон частоты вращения дебалансной массы —  $600 \div 6000$  мин<sup>-1</sup>
3. Мощность электродвигателя вибровозбудителя, кВт, в режиме:
  - номинальном ..... 0,78
  - форсированном ..... 1,3

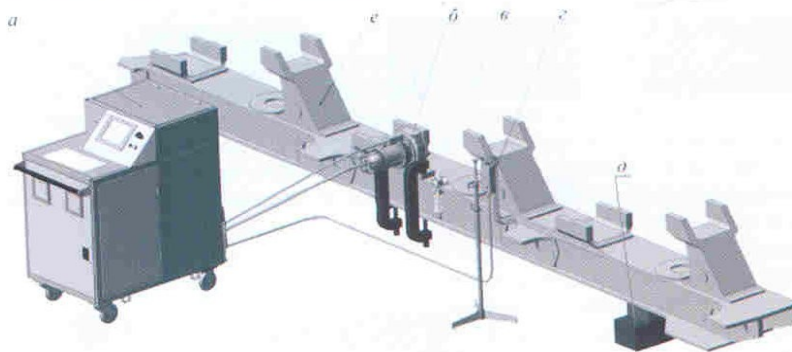
4. Потребляемый ток вибровозбудителя — 40 А
5. Напряжение питания, В:
  - вибровозбудителя ..... 27
  - установки ..... 380
6. Частота — 50 Гц
7. Потребляемая мощность — не более 1,5 кВт
8. По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации установка соответствует исполнению УХЛ категории 3.1 согласно ГОСТ 15150-69.
9. По способу защиты человека от поражения электрическим током установка соответствует классу I по ГОСТ 12.2.007.0-75.
10. Габаритные размеры, мм:
  - вибровозбудителя (длина x высота x ширина)...465 x 360
  - шкафа (длина x высота x ширина)...1130 x 1179 x 669
11. Масса, кг, не более:
  - шкафа ..... 180
  - вибровозбудителя (со встроенным электродвигателем) ..... 55
  - трех вибродатчиков в сборе и блоком усилителей для снятия характеристик в трех ортогональных плоскостях и результирующей.....1,9
  - кабелей соединительных....4,2
12. Характеристика обрабатываемых деталей: сварные, литые и пр. динамически нежесткие металлоизделия массой до 50 т типа станин, корпусов, рам, валов, венцов зубчатых колес, балок прессов, рам тележек вагонов, локомотивов и др.

Виброустановка построена в виде мобильного шкафа, в переднем отсеке которого установлен специальный низковольтный электропривод постоянного тока.

В верхнем отсеке шкафа расположено контрольно-управляющее устройство, в состав которого входит промышленный компьютер, 8-дюймовая TFT-матрица и полнофункциональная клавиатура, а также вмонтированный специальный принтер с термолентой шириной 80 мм. Задний отсек шкафа служит для расположения технологического оснащения, кабелей, вибровозбудителя, датчиков и др.

В разработанном технологическом оснащении используется электробезопасный двигатель постоянного тока с диапазоном регулирования 10÷100 Гц.

Привод управляется с помощью персонального компьютера и разрешает изменять коэффициенты и установки программного регулятора, значения



а — виброустановка ВСОИ — 2100М; б — вибровозбудитель; в — датчики (x, y, z); г — контроллер датчиков; д — вибродемпфирующие опоры; е — боковина левая 2ТЭ116.30.45.036

Рис. 1. Схема виброобработки боковины тележки локомотива



Рис. 2. Общий вид виброустановки

ускорения и торможения через интерфейс. Для отслеживания обратной связи используется специальный датчик частоты оборотов вала, встроенного в электродвигатель.

Технология ускоренного вибродеформационного старения реализуется с помощью программного обеспечения виброустановки (рис. 3).

Аппаратное обеспечение включает:

1. Компьютер.

Компьютер вибростенда выполняет следующие функции:

- диалог с оператором посредством дисплея и клавиатуры;
- управление электроприводом вибровозбудителя;
- опрос вибродатчиков;
- расчет амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) обрабатываемого изделия и вывод результатов виброобработки на дисплей;

- распечатку на принтере АЧХ обрабатываемого изделия и результатов виброобработки (рис. 4);
- контроль и обработку аварийных ситуаций.

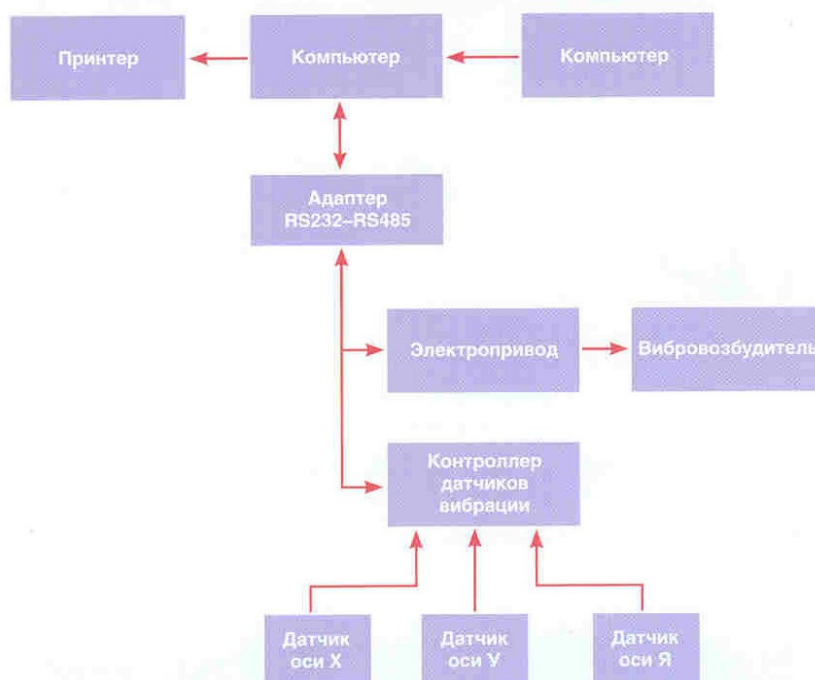
2. Дисплей, предназначенный для отображения информации, выводимой компьютером в процессе его диалога с оператором и выполнения виброобработки.

3. Клавиатуру, используемую для ввода команд оператора и передачи их компьютеру.

4. Принтер, распечатывающий на термобумаге АЧХ обрабатываемого изделия и результатов виброобработки, под управлением компьютера.

5. Преобразователь RS232—RS485.

С целью экономии аппаратных ресурсов (интерфейсов компьютера),



**Рис. 3. Блок-схема обработки сигналов датчиков для реализации технологии вибродеформационного старения**

а также поскольку компьютер «общается» с электроприводом и контроллером вибродатчиков в полудуплексном режиме (запрос — ответ), связь с ними организована по интерфейсу RS485. Преобразователь служит для подключения этого интерфейса к стандартному интерфейсу RS232, который имеется в компьютере.

6. Блок питания — компьютерный, стандартный, предназначен для питания всех перечисленных выше устройств.

7. Электропривод управляет скоростью вращения двигателя вибровозбудителя исходя из задаваемой компьютером частоты вращения и данных о действительной скорости вращения, снимаемой с датчика частоты вращения.

8. Вибровозбудитель состоит из собственно регулируемого механизма возбуждения механических колебаний (путем регулирования дисбалансного механизма изменяется амплитуда вынужденных колебаний), приводного электродвигателя постоянного тока и импульсного датчика частоты вращения двигателя.

9. Контроллер вибродатчиков осуществляет непрерывный опрос вибродатчиков, установленных таким образом, чтобы измерять амплитуды колебаний по трем осям координат — X, Y, Z. При этом, получая от датчиков сигнал, пропорциональный ускорению вибрационных перемещений, контроллер вы-

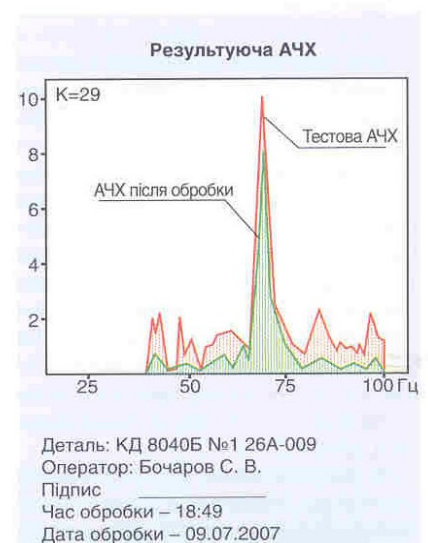
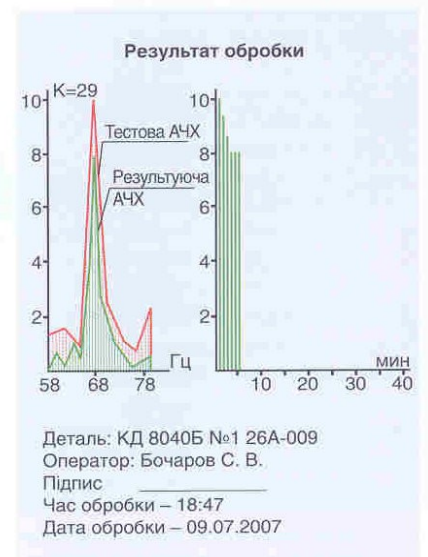
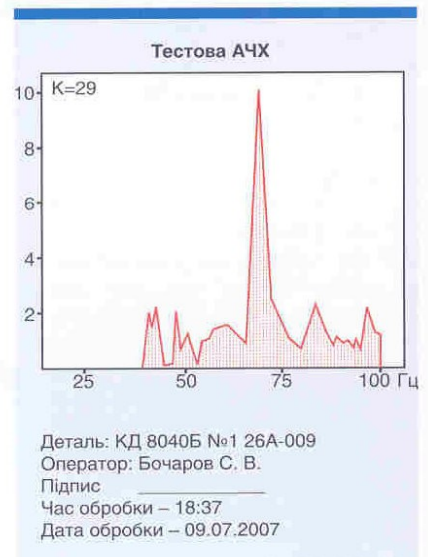
полняет двойное интегрирование этого сигнала для получения амплитуды перемещений. Полученные данные контроллер передает по запросам компьютера.

10. Вибродатчики. В комплект аппаратуры входят три вибродатчика, устанавливаемых в специальный кронштейн, который ориентирует их по трем осям пространственных координат. Вибродатчик работает на принципе пьезоэффекта и выдает сигнал, пропорциональный ускорению вибрационного перемещения.

Программное обеспечение вибростенда состоит из следующих модулей.

1. После включения питания компьютера модуль инициализации системы и главного меню производит действия, необходимые для начальной настройки аппаратуры вибростенда и выводит на экран главное меню системы, позволяющее оператору сделать выбор режима, в котором он будет работать.

2. Модуль редактирования параметров предназначен для выбора Ф. И. О. оператора, работающего в данный момент с виброустановкой, из списка Ф. И. О. всех операторов, а также редактирования этого списка (список сохраняется при выключении питания). Кроме того, этот модуль позволяет ввести наименование детали (выбранное Ф. И. О. оператора и наименование детали будут отображены при распечатке АЧХ на принтере), а также изменить



**Рис. 4. Реализация технологии с документированием на специальном принтере**

системное время и дату выполнения работы оператором.

3. Модуль снятия АЧХ позволяет в автоматическом режиме выполнить снятие АЧХ обрабатываемой детали путем последовательного сканирования вибровозбудителя от частоты 15 Гц до частоты 100 Гц с шагом 1 Гц и снятия показаний амплитуды колебаний (по осям X, Y, Z, а также результирующей, которая равна квадратному корню из суммы квадратов амплитуд колебаний по отдельным осям координат).

Графики АЧХ выводятся на экран после окончания сканирования.

4. Модуль просмотра АЧХ позволяет просматривать полученные АЧХ, сравнивать в одинаковом масштабе АЧХ по разным осям координат, просматривать относительные числовые значения амплитуд колебаний по разным осям координат, сравнивать эти значения до и после виброобработки.

5. Модуль полуавтоматической обработки предназначен для выборочной виброобработки детали на отдельных резонансных частотах. Оператор при помощи клавиатуры выбирает резонансную частоту и дает команду на обработку. Модуль самостоятельно уточняет эту частоту (разгоняет привод до нее и проводит виброобработку путем отслеживания резонанса колебания вокруг этой частоты) в пределах  $\pm 5$  Гц с шагом 1 Гц и временем обработки на каждой частоте 2 с.

После каждого полного цикла (вверх — вниз) фиксируется величина амплитуды колебаний на резонансной частоте.

Окончание обработки происходит по одному из следующих условий:

- разность между четырьмя последними амплитудами колебаний на резонансной частоте составляет не менее  $\pm 5\%$ ;
- произведено 30 циклов обработки;
- обработку остановил оператор.

6. Модуль автоматической обработки выполняет полную виброобработку детали на резонансных частотах (рис. 5). При запуске автоматически определяет каждую резонансную частоту по результирующей

АЧХ (причем если уже до этого производилась выборочная виброобработка детали после обработки модуля снятия АЧХ, то будут учитываться ее результаты) и слева направо последовательно обрабатывает их аналогично модулю полуавтоматической обработки.

Переход к обработке следующей резонансной частоты происходит по одному из следующих условий:

- разность между четырьмя последними амплитудами колебаний на резонансной частоте составляет не более  $\pm 5\%$ ;
- произведено 30 циклов обработки;
- пропуск частоты по команде оператора.

Реализация вибродеформационного старения осуществляется с помощью технологического комплекса ВСОН-2100М следующим образом.

1. Выполняются измерения на пробных режимах и выводятся в виде тестовой гистограммы на экране монитора параметры АЧХ изделия, которое обрабатывается.

2. Выполняется циклическая виброобработка в автоматическом режиме на технологических режимах с контролем изменений параметров изделия на определенной резонансной частоте путем неоднократного прохождения резонансного пика частоты к стабилизации АЧХ.

3. Определяется достигнутая стабильность напряженного состояния изделия по окончании изменений результирующей АЧХ по отношению к измерениям в осях X, Y, Z на определенной резонансной частоте.

4. Для определенного режима фиксируются результаты виброобработки на внешнем печатающем устройстве.

В разработанной технологии предусмотрена возможность эффективно выполнить оптимальную стабилизацию остаточных напряжений в деталях с несколькими участками неодинаковой жесткости. При этом оценивается собственная частота колебания каждого звена, и с помощью датчиков, располо-

женных в трех ортогональных плоскостях, рассчитывается результирующая АЧХ как равнодействующая «параллелепипеда». При колебаниях в резонансном режиме и перераспределении остаточных напряжений жесткость детали изменяется пропорционально амплитуде колебаний. Такие колебания принято называть параметрическими.

Параметрические колебания в данном случае отражают «динамическую» жесткость детали и имеют существенное значение для эффективного использования технологии вибродеформационного старения. Под динамической жесткостью понимается способность детали под влиянием вынужденных колебаний изменять свою жесткость на резонансных частотах.

С уменьшением амплитуды в полосе совпадения частоты вынужденных колебаний и собственной частоты элементов детали жесткость детали возрастает. Наиболее эффективная виброабрационная обработка возможна в том случае, когда в резонанс одновременно вводятся все (или большинство) элементы с частотой, равной наименьшему общему кратному собственным частотам отдельных звеньев деталей. Вследствие этого все звенья цепи детали (металлоконструкции) будут находиться под равносильным влиянием резонанса [3].

Такой подход в технологии использования вибродеформационного старения позволяет обеспечить высокое качество и прочность изделия.

По подсчетам ХК ОАО «Лугансктепловоз» замена действующей технологии на вибродеформационное старение пяти рам тележек, балки и боковины с использованием ВСОН 2100М позволит сэкономить около 0,5 млн грн.

Затраты на приобретение виброустановки и внедрение вибрационной технологии старения окупаются после обработки двух 25-30-тонных нежестких сварных металлоконструкций или литых, сварно-литых изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колот В. А. Применение ресурсосберегающих вибрационных и отделочно-упрочняющих методов обработки нежестких деталей в тяжелом машиностроении. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаша, 1991. — 56 с. (Технология, экономика, организация производства и управления. Сер. 8, вып. 24).
2. Колот О. В. Підвищення надійності технології вібростабілізуючої обробки на основі оптимізації її режимів. — Автореф. канд. тех. наук. — Київ, 1997. — 16 с.
3. Способ снятия остаточных напряжений в деталях / Гинкул С. П., Молчанов Е. П., Колот В. А., Колот Л. П. — А. с. № 899678, опубл. Бюл., 1982, № 3.



Рис. 5. Примеры обработки изделий в цеховых условиях