

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОВЕКТОРНОГО НАГРУЖЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. НОРМИРОВАНИЕ

*Институт надежности машин НАН  
Минск, Беларусь*

Для проведения анализа «входные-выходные» проектные данные, а также «проверка проекта» согласно процедур «управления проектированием» (ISO 9001, QS 9000, VDA 6.1) необходимы экономически целесообразные [1] и достоверные методы расчетных анализов и экспериментальной проверки конструкторских решений. Расчеты и испытания натуральных конструкций транспортных средств является дорогостоящим процессом и проводятся в ограниченно [2]. Существующее стендовое оборудование для испытаний несущих систем можно условно разделить на группы: с инерционным возбуждением (силы неуравновешенных масс); с кинематико-силовым нагружением (заданное перемещение точек) [3].

Первой задачей работы являлось уточнение критериев предельного состояния. Во-вторых, необходимо было определить цели оптимального проведения расчетов и испытаний для пятого уровня («конструкция в целом») иерархии [2] элементов сборной несущей конструкции. Определение адекватной схемы нагружения на стенде для модернизации действующего в испытательном подразделении являлось третьей задачей. При решении четвертой задачи уточнялись нагрузки, которые целесообразно учитывать для определения случаев и установления норм расчета конструкций.

Проведены расчетные МКЭ (12-ть случаев нагружения при балочной аппроксимации конструкции, 3 - оболочечной) и экспериментальные исследования, на основании анализа результатов которых можно отметить следующее:

а) Предложена структурная схема надежности несущей конструкции транспортного средства (рис.1). Исходя из представленного (рис.1) сочетание свойств – надежность сводится к долговечности. Это свойство можно распространить на пассивную безопасность, жесткость и прочность. Параметры безопасности далее опустим. Из-за нецелесообразно ремонта, необходимо говорить о «безотказности». Жесткость конструкции (в отличие от прочности) - интегральный параметр, сочетающий необходимое условие – обеспечение прочности и достаточное - ограничение по деформации. Таким образом, несущая конструкция должна иметь «долговечную» («безотказную») жесткость (рис.1). Причинами ее нарушения является: разрушение составной части, в том числе крепежа (жесткость равна нулю); трещины, приводящие к локальной потере жесткости; ослабление соединений (локальная и глобальная потеря жесткости); неблагоприятное суммирование не критических результатов действия вышеизложенных причин. Рассматриваются одновременно действующие процессы: усталость, фреттинг-усталость, ослабление соединений, разрушение крепежа и т.д.

б) Рассмотрена практика (на МАЗе) расчетов и испытаний (статический изгиб, кручение и продольная сила, «жесткое нагружение»). Сделан вывод о ее неадекватности (не учет повреждающих векторов сил, недостаточное измерение жесткости; оценка НДС несущих элементов по четвертой теории прочности, главным и осевым напряжениям в зоне концентрации напряжений; оценка НДС крепежа (заклепок, болтов) по растягивающим, сминающим и срезающим напряжениям [1]).

в) При расчетах и испытании натурной конструкции необходимо определять требуемую жесткость (локальную, глобальную); по критериям предельного состояния для установленных узлов и агрегатов.

г) Расчеты и испытания на циклическое воздействие необходимо осуществлять при «мягком», а не «жестком» нагружении, а при этом схема и количество циклов нагружения должны воспроизводить и быть эквивалентны режиму форсированных испытаний автополигона. Предложен эквивалент пробега (км) по дорогам первой категории эксплуатации соответствующий циклам ФРИ и стенда.

д) Предложена схема нагружения для модернизации стенда (на примере рамы седельного тягача) (рис. 2).

е) Предложены схемы расчетных случаев, величины нагрузок, заданы условия закрепления, нагружения конструкции. Конечно-элементные модели учитывают элементы подвески, седельно-сцепного устройства (расчеты выполнены совместно с МАЗ) (рис.2,3)[3]. Подтверждена адекватность[3]. Информация о перемещениях точек конструкции, внутренних силовых факторов возникающих в элементах (кронштейны подвески, сцепного устройства и т.д.) позволяет проводить их расчеты.

ж) Необходимо проводить расчеты и испытания на заданные виды нагрузок (норма видов нагрузок): статическая вертикальная нагрузка; кручение рамы относительно продольной оси; параллелограммирование рамы (несимметричное продольное нагружение); продольное нагружение рамы («упор в бордюр»); параллелограммирование и изгиб рамы в плоскости дороги (момент в плоскости дороги, например, при развороте трехосного автомобиля); продольное нагружение рамы при разгоне-торможении (на седельно-сцепное устройство, центр тяжести кузова и т.п.); боковая нагрузка на раму (на седельно-сцепное устройство, центр тяжести кузова и т.п.) при движении на повороте, уклоне; продольное нагружение рамы при буксировке (на переднюю или заднюю поперечины); технологическое нагружение рамы (подъем-опускание кузова самосвала, выдвижение лестницы, стрелы подъемного крана и т.п.); нагрузки, возникающие при транспортировке (например, воздушным транспортом).

з) Результаты расчетов рамы МКЭ необходимо формировать в блоки, сопоставить с расчетами МКЭ локальных моделей зон нерегулярности и проводить уточнения величин НДС с помощью коэффициента чувствительности КЭ-модели  $K_s$ , крепежа – с коэффициентом перегрузки  $n$  [2,4].

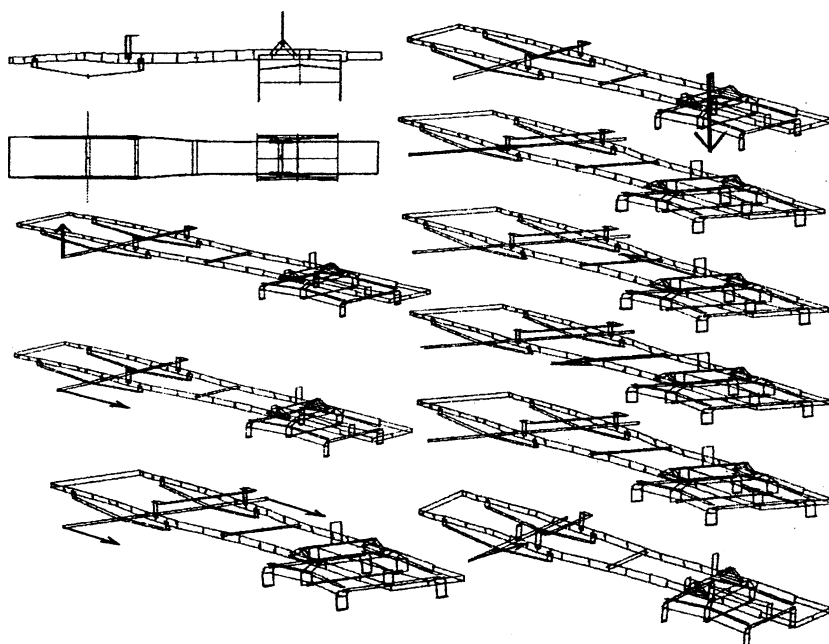


Рис. 3 Схемы нормируемых видов нагружения

**Литература** 1.Панов А. Н. Оптимизация затрат на качество // Техника. Экономика. Организация. – 2000. - №1-2. – С. 30-32. 2.Панов А.Н. Физическое и математическое моделирование повреждений несущих элементов машин// Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. Мн.: УП «Технопринт»,2001.-2001 с.375-379. 3.Панов А. Н. Моделирование многокомпонентного стендового нагружения несущей конструкции транспортного средства. Нормирование моделирования / Ин-т надежности машин НАН Беларуси. – Мн., 2000. – 27 с. Деп. в БелИСА 25.07.2000, № Д200055 // Реферативный сборник. – 2000. – № 18. – С. 103. 4.Панов А.Н., Ракицкий А.А., Горбацевич М.И. и др. Прогнозирование ресурса несущих элементов рам автомобилей – Минск, 1991. – 55 с.– (Препринт / Акад. наук Беларуси. Ин-т надежности машин).

УДК 621.833 : 681.518.5

Я. О. Берестнев

## ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА УТОЧНЕННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ВИБРАЦИИ РОТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Институт надежности машин НАН Беларуси  
Минск, Беларусь*

Для эффективного диагностирования роторных механизмов, зубчатых передач важно получать точные оценки спектральных амплитуд вибраций на характерных частотах, прежде всего, оборотных, зубцовых и других кратных частоте вращения. Конечная длительность временного окна при обработке периодического сигнала методом быстрого дискретного преобразования Фурье приводит к тому, что результат получается не в виде идеальных спектральных линий, а каждая линия сопровождается боковыми выбросами. Недостатком общепринятого использования весовых корректирующих функций (окон) является существенное уширение спектральных линий.

Разработанная автором методика не требует подключения к диагностической системе специальных синхронизирующих таходатчиков и основана на точном нахождении характерной (зубцовой) частоты механизма. Для этого предложено использовать отношения модулей комплексных коэффициентов, найденных применением БПФ к выборке дискретных отсчетов сигнала виброколебаний и соответствующих частотам вблизи искомой. Указанные отношения количественно характеризуют размытость спектральной линии, возникающую из-за того, что длительность временного окна не составляет в точности целое число периодов гармоника сигнала. Далее рассчитывается длительность временного окна, в котором укладывается целое количество периодов оборотной частоты детали механизма. Это обеспечивает возможность получить повторным применением БПФ уточненные оценки амплитуд виброколебаний на оборотных, характерных и модуляционных частотах, четкие, неразмытые линии на спектрограммах [2].

Методический подход реализован автором в программном обеспечении для автоматического получения спектральных характеристик вибрации зубчатых передач с помощью микропроцессорного комплекса контроля и диагностики машин и механизмов, разработанного в ИНДМАШ НАНБ [1, 4]. Указанное программное обеспечение позволяет получать и сравнивать уточненные спектры, решать задачи восстановления,