

ЛИТЕРАТУРА

1. Зерноуборочные комбайны/ Г.Ф. Серый, Н.И. Косилов, Ю.Н. Ярмашев, А.И. Русанов. - М.: Агропромиздат, 1986. - 248 с.; 2. Зерноуборочные комбайны "Дон" / Ю.А. Песков, И.К. Мещеряков, Ю.Н. Ярмашев и др. - М.: Агропромиздат, 1986. - 333 с.; 3. Шуринов В.А. Основы агрегатирования универсального мобильного энергетического средства с адаптерами различного назначения. – Гомель: ИММС НАН Б, 1999. - 392 с.; 4. Патент РФ 2143796 С1, 7 А 01 D 43/08. Перегрузочный рукав сельскохозяйственной машины / В.А. Шуринов, М.П. Иоффе и др. - Заявлено 24.12.98; Оpubл. 10.01.2000, Бюл. № 1.

УДК 629.3

С.М. Минюкович

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Минский автомобильный завод
Минск, Беларусь*

С целью повышения точности и сокращения времени прогнозирования ресурса были поставлены и решены три задачи.

Во-первых, определение напряженно-деформированного состояния сборных несущих конструкций на этапах жизненного цикла изделия. Определение напряженно-деформированного состояния (НДС) сборных пространственных несущих конструкций является одной из основных задач, необходимых для обеспечения их ресурса на этапах жизненного цикла технической системы: прогнозирования - при проектировании; оценки – после изготовления опытного образца; контроля качества – в процессе серийной сборки конструкции; диагностики – при принятии решения о возможности продолжения эксплуатации.

В настоящее время существует ряд методов определения НДС [1] наиболее распространенные: расчетный (в первую очередь метод конечных элементов МКЭ)); тензометрии (традиционный); оптические, например, хрупких покрытий (в основном для качественной оценки, в последнее время редко применяемый из-за сложности и невозможности повторения измерения); неразрушающие, например, магнитные (требуют развития). Применение указанных методов рассмотрим на примере рамы транспортного средства.

Каждый из упомянутых методов определения обладает достоинствами и слабыми сторонами. В данной работе особое внимание уделено экспериментальным методам.

Наибольшее развитие в настоящее время получают методы неразрушающего контроля, а для определения напряженного состояния стальных конструкций – магнитные [2]. Их несомненным преимуществом является мобильность, относительно невысокая трудоемкость, особенно при контроле в процессе производства и диагностики в эксплуатации. В то же время имеются и трудности в применении; часто возникает нелинейная тарировочная зависимость между механическим напряжением и изменением магнитных свойств; достаточно большой (для зон концентрации) размер головки магнитного преобразователя, которую необходимо прикладывать к исследуемой зоне; чувствительность к марке материала, направление текстуры металла

и краевому эффекту. Соответственно, магнитный метод для сборных несущих конструкций обладает недостаточной точностью из-за чувствительности к конструкторско-технологическим факторам, нелинейности характеристик при достижении значений, определяемых экспериментально для каждой марки материала, размерами измерительной головки.

Для преодоления упомянутых проблем разработана методика оценки рабочих и ОНС в сборных конструкциях на базе метода остаточного магнитного поля (ОМП) при локальном центрально-симметричном намагничивании поверхностей. Метод ОМП основан на наличии пропорциональной связи между изменением величины градиента ОМП и приращением величины механического напряжения, действующего вместе намагничивания.

$$\Delta\alpha = K\Delta\sigma$$

где $\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha_k$; α_0 - значение ОМП до испытаний; α_k - значение ОМП после испытаний; k - тарировочный коэффициент; $\Delta\sigma$ - величина приращения механического напряжения.

Следует отметить, что использование метода локального ОМП при центрально-симметричном намагничивании поверхности (ось симметрии перпендикулярна поверхности контролируемого изделия) и измерение величины градиента поля рассеяния над центром намагниченного участка позволяет:

- производить измерения без разрушения защитного лакокрасочного покрытия;
- измерять величину, знак и максимальную величину (за счет суммирования только при превышении предыдущего значения напряжения) в точке намагничивания;
- игнорировать частоту (до 50Гц) и асимметрию цикла нагружения изделия;
- осуществлять мобильный поиск и исследовать зоны концентрации напряжений (в том числе для корректного размещения тензодатчиков);
- измерять остаточные напряжения в процессе сборки;
- на конструкции, подвергнутой циклическому нагружению и имеющей повреждения, диагностировать при статическом контрольном нагружении возникающее напряжение и их критичность по отношению к предельным значениям.

Первоначальное намагничивание и последующее измерение осуществляются выносным преобразователем, который прикладывает к поверхности изделия. Диаметр измерительной головки преобразователя 25 мм. Перед измерением необходимо строить тарировочную характеристику на растягиваемых (сжимаемых) плоских образцах, изготовленных аналогично (материал и технология) конструкций.

В качестве иллюстрации в таблице представлены данные применения различных методов (ОМП, тензометрия и МКЭ) определения НДС, влияния на точность близости соединений несущих элементов.

Величины напряжений (Mna) в зонах рамы трехосного автомобиля,
определенные различными методами

Зона конструкции	№ тензо-датчика	Расчет рамы МКЭ (стенд. закручива- ние на 4^0)	Измерение рамы ОМП (стенд. за- кру-	Тензометрирова- ние рамы (стенд.	Тензометрирова- ние автомобиля (перезд неров- ности 100 мм)	Влияние на точность близости к соединению
Полка лонжерона у I поперечины: верхняя	1	200	43	60	57	Сущест- венное
нижняя		240	54	0	62	
Нижняя полка лонжерона у зад-него кронштейна передней рессоры: перед ним	-	90	78	40	43	-
	-	90	23	28	65	
Лонжерон у III поперечины а) полка перед поперечиной; б) стенка: перед поперечиной за поперечиной	2	190	204			Сущест- венное
	8	180		8	46	
	6	180		6	69	
Стенка лонжерона у IV попере-чины: впереди	20	80	-	36	50	Сущест- венное
	25	80	-	12	92	
Полка балки IV поперечины	14	-	87	8	97	-

Разработка методики с целью ускоренной оценки ресурса несущей конструкции которая подразделяется на два этапа: 1-й этап – прогнозирование ресурса по локальной модели [3], 2-й этап – создание эквивалентных стендовых испытаний.

Эксплуатация машин, как многократное повторение технологических или транспортных процессов, которые при анализе делят на операции, каждая из них может рассматриваться как типовой, многократно повторяющийся режим эксплуатации. При типовом режиме эксплуатации в опасных в смысле усталости зонах конструкций регистрируется реальный процесс нагружения. Продолжительность регистрации должна быть достаточной для анализа циклов напряжений всех частот.

Из записанных, например на магнитную ленту, значений напряжений предлагается сформировать массив, состоящий из минимумов и следующих за ним максимумов исходного случайного процесса. Массив должен быть занесен на любой носитель информации для последующей компьютерной обработки.

Предложены методики учета многочастотности нагружением.[3] С целью повышения достоверности прогнозирования ресурса. При этом для проведения асимметричных циклов к эквивалентным по повреждению симметричным может использоваться уравнение

$$\sigma = \beta \sigma_{\max} - (ab - 1) \sigma_{-1}$$

где σ - максимальное напряжение симметричного цикла, эквивалентного по повреждению асимметричному циклу с максимальным напряжением σ_{\max} и коэффициентом асимметрии R ;

$$a = \frac{2}{2 - (1 - \psi)(1 + R)}$$

$$b = \frac{1}{\frac{V_1}{V_2}(1 + R) - R}$$

σ_{-1} , σ_0 - пределы выносливости при симметричном и отнулевом нагружениях соответственно; $\psi = \frac{2\sigma_{-1}}{\sigma_0} - 1$ - коэффициент чувствительности к асимметрии нагружения; V_1 и V_2 - характеристики углов наклона кривых усталости при отнулевом и симметричном нагружениях $\left(V = \left| \frac{d\sigma}{d \ln N} \right| \right)$ в полулогарифмической системе координат $(\sigma - \ln N)$.

Для достоверного получения характеристик сопротивления усталости используют локальные модели при регулярном нагружении при отнулевом и симметричном циклах напряжений.

После приведения асимметричных к эквивалентным по повреждению симметричным циклам для каждой частоты рекомендуется воспроизводить убывающий ряд эквивалентных симметричных напряжений:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_i > \sigma$$

Эти вариационные убывающие ряды являются нагрузочными блоками, которые могут быть использованы при оценках циклической долговечности по методу.

Для аппроксимации нагрузочных блоков каждой частоты предлагается использовать функцию распределения Вейбулла в записи:

$$\frac{i}{n_n} = \exp \left[- \left(\frac{\sigma_i - \bar{\sigma}}{\sigma_w} \right)^w \right]$$

где n - число нагружений в убывающем вариационном ряду; i - порядковый номер напряжения σ_i в нем; $\bar{\sigma}$ - аппроксимированное минимальное напряжение нагрузочного блока; σ_w - параметр функции распределения с размерностью напряжения; w - показатель степени.

При $i=1$ определяется аппроксимированное максимальное значение напряжения $\bar{\sigma}$.

Параметры распределения определяются методом наименьших квадратов. Следует учитывать, что совпадение $\bar{\sigma}$ и $\hat{\sigma}$ с напряжениями σ_1 и σ_n вариационного ряда может быть только случайным.

Аппроксимация блоков случайного нагружения функций распределения дает возможность сравнить повреждающее действие блоков разных частот и выделить наиболее повреждающий блок, а также использовать результаты аппроксимации для принятия решения о прекращении процесса регистрации.

При сравнении блоков со значениями пределов выносливости возможны следующие случаи: когда σ_n (или $\hat{\sigma}$) $> \sigma_R$. Здесь при расчетах циклической долговечности может быть использована гипотеза Пальмгрена-Майнера;

когда σ_n (или $\hat{\sigma}$) $> \sigma_R > \sigma_n$ (или σ), необходимо использовать уравнение суммирования усталостных повреждений с учетом снижения предела выносливости [2,3]:

$$N_{\Sigma} = \sum_{j=i}^{j=k} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\beta_i}{\Delta N_{ji}}} \right)$$

когда σ_n (или $\hat{\sigma}$) $< \sigma_R$, но при этом имеются повреждающие нагрузочные блоки других частот, этот блок может подключаться к повреждению в процессе многочастотного нагружения, если предел выносливости при нагружении становится меньше максимального напряжения данного блока.

Суммирование в пределах одной транспортной или технологической операции целесообразно проводить в единицах выполненной работы в течение всего процесса. Например, при известном числе циклов на один километр пробега при действии блоков каждой частоты, долговечность при повреждении только блоками i -й частоты равна:

$$L_i = \frac{N_{\Sigma i}}{l_i}$$

При q -частотном нагружении повреждающее действие только одной операции для транспортного средства равно:

$$\frac{1}{L_c} = \sum_{i=1}^{i=q} \frac{1}{L_i}$$

т.е. сумме повреждающих действий блоков каждой частоты. Уравнение рекомендуется использовать для оценки относительного повреждающего действия блоков нагружения каждой частоты (L_c/L_i)/

Если доля одной операции в общем процессе составляет (β/L_{cj}). Исходя из того, что повреждающее действие всего процесса эксплуатации является суммой повреждающих действий "m" отдельных операций, долговечность элемента конструкции при выполнении анализируемого многократно повторяемого эксплуатационного процесса будет следующая:

$$L_{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{\beta_j}{L_{cj}}}$$

Таким образом решены задачи повышения точности и ускорения прогнозирования ресурса несущих конструкций.

Из исследований следует, что испытания при регулярном нагружении ускоряют процесс усталости по сравнению с испытаниями при нерегулярном нагружении от 3 почти до 100 раз в зависимости от жесткости нагружения.

При реализации регулярного нагружения необходимо определить максимальное напряжение цикла. Чтобы избежать форсирования по напряжениям, рекомендуется в качестве максимального растягивающего напряжения перпендикулярного траектории движения усталостной трещины в опасной зоне рамы принимать максимальное напряжение σ_1 или $\hat{\sigma}$ наиболее жесткого нагрузочного блока (ряда напряжений). Это напряжение воспроизводится схемой и величиной действующих на раму нагрузок.

Можно сформулировать следующие основные положения методики ускоренных испытаний несущих конструкций:

- проводить испытания с воспроизведением схем эксплуатационного нагружения рамы при регулярном нагружении вместо нерегулярного;
- выбирать максимальные напряжения цикла регулярного нагружения перпендикулярно траектории движения усталостной трещины в опасных зонах рамы равным максимальному напряжению наиболее жесткого нагруженного блока;
- обеспечить цикл нагружения в опасных зонах рамы, равным или близким к симметричному.

Методика пробирована на примере рамы трехосного самосвала..

Для воспроизведения эксплуатационного нагружения на платформе размещался груз, изгиб в горизонтальной плоскости и кручение рамы воспроизводились гидроцилиндрами в зоне передней подвески.

Максимальные напряжения в опасных зонах обеспечивалось поиском угла закручивания, который составил $\pm 4,5^\circ$. При этом реализовался цикл нагружения опасных зон, близкий к симметричному.

В процессе испытаний регистрировались напряжения в опасных зонах перпендикулярно траекториям роста трещин и число циклов до предельного повреждения опасных зон. Опасными являлись зоны сварных соединений. Предельным принят размер трещин в 10 мм. По результатам ускоренных испытаний рамы определялись пределы выносливости опасных зон и определялись обобщенные характеристики опасных зон.

Обобщенные характеристики сопротивления усталости опасных зон использованы для анализа нагруженности этих зон при топливных режимах эксплуатации автомобиля-самосвала при работе в карьере: загрузке, движении в карьере с грузом, движении вне карьера с грузом, разгрузке, движении вне и в карьере без груза. Для каждого типового режима эксплуатации расчетным путем определялся км пробега ресурс (L_i) при условиях многократного повторения только данного режима эксплуатации. Ресурс рамс (L_c) при многократном повторении всего технологического цикла равен:

$$\frac{1}{L_c} = \frac{\beta_1}{L_1} + \frac{\beta_2}{L_2} + \dots + \frac{\beta_i}{L_i} + \dots + \frac{\beta_k}{L_k}$$

где β_i – относительный пробег автомобиля-самосвала при i -том типовом режиме эксплуатации.

Из расчетов ресурсов на основе локального моделирования и стендовых испытаний следует, что;

- наиболее тяжелым режимом эксплуатации является движение автомобиля-самосвала в карьере с грузом ($\beta=0,0714$) и доля повреждающего действия остальных типовых режимов эксплуатации незначительна;

Разработка методики с целью ускоренной оценки ресурса несущей конструкции,

- 100 нагружениям на стенде (частота нагружений 1Гц) соответствует 12,4 км пробега в карьере с грузом;
- 100 нагружениям на стенде соответствует 173 км пробега на анализируемой трассе;
- при испытаниях на стенде достигнуто ускорение в 156 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформации и напряжений// «Машиностроение», Москва, 1983 г.; 2. Панов А.Н., Горбацевич М.И., Минюкович С.М. Определение напряженно-деформированного состояния сборных конструкций на этапах жизненного цикла изделия.// Сборка в машиностроении,

приборостроении. 2004, № 4, стр. 30 – 35.; 3. Почтенный Е.К., Кодолко Л.И., Парфенович Е.О. Анализ случайного многочастотного нагружения элементов конструкции.// Вести АН Беларуси № 4, 1997 г., с. 26 – 30.; 4. Почтенный Е.К., Кодолко Л.И., Горбацевич М.И., Капуста П.П., Минюкович С.М. Ускоренные испытания рамы автомобиля// Автомобильная промышленность № 7, 1998 г., с. 25 – 26.

УДК 629.3

С.М. Минюкович, А.В. Шмелев

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ РАМЫ АВТОМОБИЛЯ-САМОСВАЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В КАРЬЕРЕ

*Минский автомобильный завод,
НИРУП “Белавтотракторостроение” НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Как известно, работа автомобиля-самосвала заключается в периодическом повторении рабочего цикла по доставке груза к месту разгрузки и движение обратно. Сам рабочий цикл можно разделить на отдельные режимы, которые будут характеризовать определенный уровень нагруженности и повреждения, интересующего объекта. В нашем случае таким объектом являлась рама автомобиля, которая непосредственно воспринимает все нагрузки, действующие со стороны подвески и перевозимого груза. Очевидно, имеется два независимых направления, по которым формируются нагрузочные режимы. По наличию или отсутствию груза рабочий цикл автомобиля-самосвала можно разделить на два режима – движение с грузом и движение без груза. Нагрузки, действующие на раму, определяются состоянием или типом дорожного полотна. Поэтому, в нашем случае в зависимости от состояния дорожного полотна можно выделить следующие режимы: движение в карьере, движение по ровному асфальту, движение по разбитому асфальту. Кроме того, в некоторых случаях могут являться особо повреждающими режимы загрузки и разгрузки, поэтому они добавляются к рабочему циклу.

На рисунке 1 приведена схема рабочего цикла автомобиля-самосвала МАЗ-5516 с выделением нагрузочных режимов рамы.



Рис. 1. Схема рабочего цикла автомобиля-самосвала