

Т.А. ВАСИЛЬЕВА, асп. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ РАБОТЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ НАГРУЗКИ

У статті описано новий підхід до обґрунтування параметрів машин, які розраховані на тривалий період експлуатації під дією багатоконпонентного навантаження. Запропоновано врахувати сумісну дію різних видів навантаження при визначенні ресурсу елементів машин. Наведені приклади застосування запропонованого підходу до розрахунку рам тепловозів, кранів, паливозаправників.

В статті описан новий підхід к обоснованию параметров машин, рассчитанных на длительный период эксплуатации, под действием многокомпонентных нагрузок. Предложено учитывать совместное действие различных видов нагрузок при определении ресурса элементов машин. Приведены примеры использования предложенного подхода к расчету рам тепловозов, кранов и топливозаправщиков.

This paper describes a new approach to the justification of the parameters of machines designed for a long period of operation under the influence of multi-component loads. Asked to consider the combined effect of different types of loads to determine the resource elements of machines. Examples of the use of the proposed approach to the analysis of frames of locomotives, cranes, fuel tankers are given.

Введение. Современные машины подвергаются нагрузкам все более высокой интенсивности. При этом в условиях интенсивной эксплуатации механизмы испытывают нагрузки различного типа (статические, динамические и ударные). Характерной особенностью нагрузок, действующих на одну и ту же машину, является, как правило, их многокомпонентность. Примером может служить рама тепловоза, на которую оказывают воздействие как постоянные нагрузки (собственный вес конструкции), так и переменные (толчковые и тянущие силы при движении, вибрация, колебания температуры). Все эти нагрузки в совокупности влияют на длительность ресурса основных элементов машин, продлевая или сокращая его.

Большое влияние на длительность эксплуатационного периода оказывают условия, в которых работают те или иные машины. Для приведенного выше примера – тепловоза – большое воздействие на срок службы, например, рамы, оказывают качество железнодорожного полотна, наличие на трассе больших ук-

лонов, количество и вес вагонов состава, климатические условия [1-11].

Многокомпонентные нагрузки влияют на элементы машин в совокупности. При исследовании по традиционным методикам, как правило, выделяют воздействие отдельных составляющих:

- по характеру воздействия – весовые и тяговые;
- по характеру распределения – статические, динамические, ударные;
- по виду напряженно-деформированного состояния (НДС) – изгиб, кручение, растяжение.

Прочность и ресурс элементов машиностроительных конструкций при этом рассчитываются:

- через оценку усталости материала при многоцикловом напряжении;
- через расчет образования остаточных напряжений от всплесков нагрузок, от накопления повреждаемости, от деградации свойств материалов (наводороживание, коррозия и т.д.);
- посредством сравнения максимальных напряжений при всплесках нагрузок с допускаемыми.

Несмотря на реализацию сложного совместного воздействия многокомпонентных нагрузок на элементы машин, традиционные методики расчета их параметров, в частности, по критериям прочности, не учитывают комплексность, в действительности, этого влияния. При этом машины, работающие в подобных условиях, достаточно распространены. Помимо уже названных рам тепловозов и вагонов, сюда же можно отнести цистерны автозаправщиков, подъемные краны, перегружатели, отвалообразователи и т.п. Все эти конструкции рассчитываются таким образом, что каждая составляющая нагрузки рассматривается по отдельности. Это заметно искажает как общую картину нагружения, так и расчет параметров элементов машин. В то же время важным обстоятельством является то, что все компоненты нагрузки действуют либо одновременно, либо в совокупности, либо воздействие их накапливается, и это нужно учитывать при расчете элементов машин. Таким образом, является весьма актуальной задача совершенствования методов расчета машиностроительных конструкций с учетом взаимодополняющего влияния различных компонентов нагрузки, физических процессов, состояний и ограничительно-критериальных факторов, рассматриваемых совокупно и интегрально.

Общий подход к решению задачи. Предлагается усовершенствованный подход к расчету элементов машиностроительных конструкций, учитывающий, в отличие от традиционных (в том числе ГОСТированных, нормированных методик), всю гамму перечисленных особенностей.

При реализации предлагаемого подхода предполагается, что материал исследуемой конструкции работает в упругой области. В связи с этим на этапе расчетов напряженно-деформируемое состояние исследуемых элементов можно получить как результат суперпозиции от «парциальных» НДС, вызываемых действием отдельных компонентов нагрузки.

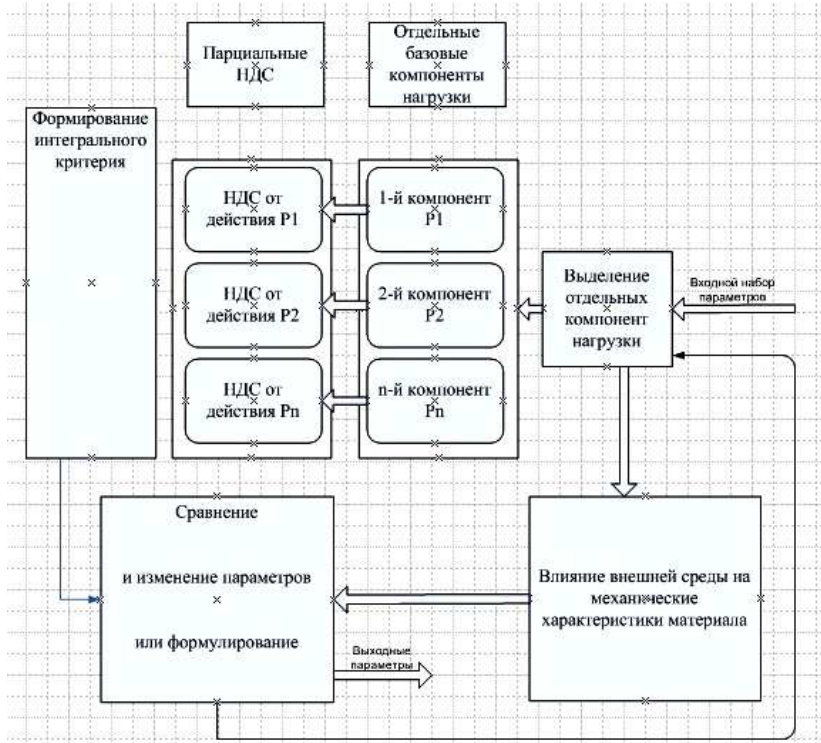


Рис. 1. Общая структура расчетных исследований

На рис.1 представлена общая структура расчетных исследований для обоснования параметров наиболее нагруженных и ответственных элементов машиностроительных конструкций. Особенностью предложенного подхода является выделение отдельных типов воздействия и НДС, обуславливаемых ими, в виде «базовых». Далее совокупное влияние этих компонентов нагрузки определяется двумя факторами. Первый из них соответствует удельному весу (масштабный фактор) того или иного компонента нагрузки. После этого идет процесс «суммирования» влияния отдельных компонентов нагрузок. Здесь на первый план выступает второй фактор – механизм формирования критериальных величин. Способов формирования критериальных величин существует достаточно много, они разнообразны и зависят от типа предельного состояния, которое, в свою очередь, определяется доминирующими физическими процессами. Это, например, может быть или условие физической прочности при однократных всплесках нагрузки, или суммирование повреждаемости материала за время эксплуатации, или критерий оценки предела выносливости при одно- или многочастотном нагружении. Эти и другие критериальные

величины, как правило, имеют нелинейный характер зависимости от компонент напряженно-деформированного состояния. Это делает рассматриваемый двухэтапный процесс нелинейным с точки зрения характера влияния отдельных компонент нагрузки.

Еще одним немаловажным дополнительным фактором является изменение механических свойств материала деталей исследуемой машины под действием условий внешней среды. В частности, значительное влияние на механические свойства материала оказывают температуры (высокие или низкие), химически агрессивная среда, коррозионные явления, наводороживание металлов и другое. Каждый из этих факторов неодинаково сказывается на механических характеристиках материала. Это оказывает дополнительное усложняющее воздействие на интегральную оценку прочностных характеристик исследуемого элемента той или иной машины.

Пример: рама тепловоза 2ТЭ10М. Рассмотрим алгоритм действий на примере оценки НДС рамы магистрального тепловоза 2ТЭ10М. Выделим в первом приближении две компоненты нагрузки:

- P_1 – усилие тяги, сосредоточенное на шкворнях рамы;
- P_2 – весово-инерционная нагрузка от действия элементов конструкции, размещенных на раме (рис. 2).

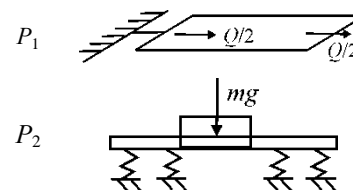


Рис 2. Варианты нагружения конструкции

На рис. 3 представлены характерные распределения интенсивности напряжений от единичных величин P_1 и P_2 , а на рис. 4 – распределение интенсивности напряжений при некоторых номинальных значениях P_1 (γ_1) и P_2 (γ_2): $\sigma_{ij}\epsilon = \gamma_1\sigma_{ij}^1 + \gamma_2\sigma_{ij}^2$, где γ_1 взято как 100 кН, а γ_2 – 300 кН.

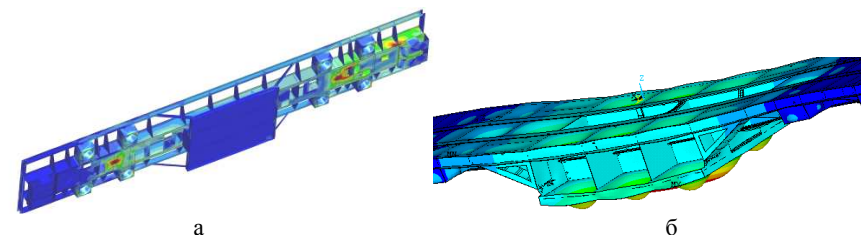


Рис. 3. Характерные распределения интенсивности напряжений от величин P_1 (а) и величин P_2 (б)

На рис. 5 представлены коридоры распределения эквивалентных напряжений от действия каждой компоненты (приняты как $\pm 20\%$ и $\pm 30\%$ соответственно) и от сложения результатов напряжений и от их суперпозиции. Важно, что наблюдается количественное несоответствие изменения данных ве-

личин. Отсюда можно сделать вывод о том, что еще более сложным это несоответствие будет для случая совокупного действия многоцикловых нагрузок разной частоты и интенсивности и с разным коэффициентом асимметрии.

Выводы. В статье отмечено наличие:

- значительных недостатков традиционных подходов при расчетах параметров машин при действии многоцикловых нагрузок;
- неравномерность влияния отдельных компонентов, а также значительная нелинейность влияния этих напряжений на формирование критериевых величин;

- возможность применения предлагаемого подхода для анализа стохастических процессов, когда γ_1 и γ_2 – случайные величины.

Заключение. Представленный в статье подход нуждается в математической формализации. При этом можно опираться на технологию обобщенного параметрического описания физико-механических процессов и состояния сложных механических систем [1-3], трактуя и компоненты нагрузок, и критериевые величины, и механические свойства материалов как обобщенные параметры. Кроме того, необходимо апробировать его для случаев расчета различных машин, в том числе и при стохастическом распределении компонент нагрузок. Это и составляет направление дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – № 1, т. 2. – С.3-8 2. Орлов Е.А. Параметрический подход к моделированию динамики железнодорожных экипажей // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №. 33. – С. 77-87. 3. Орлов Е.А. Моделирование воздействия эксплуатационных нагрузок на рамы тепловозов: методы, модели, специализированная САПР // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №.24. -С.103-112. 4. Конструкция и динамика тепловозов / Под ред. В.Н.Иванова. – М.: Транспорт, 1974. – 336 с. 5. Овечников Н.Н. и др. Расчет несущего кузова тепловоза как стержневой системы с использованием ЭЦВМ // Тр. ВНИТИ. – Вып..129. – 1968. –

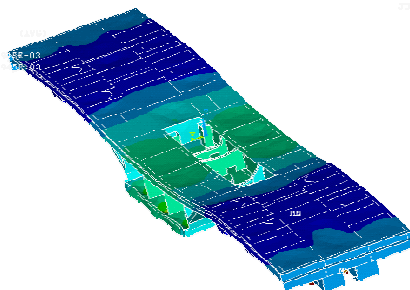


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений при комбинированной нагрузке

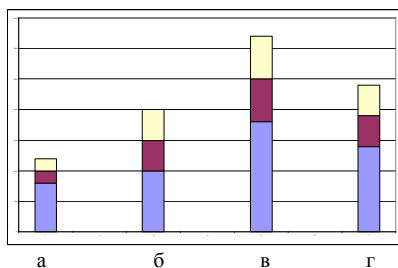


Рис. 5. Сравнение результатов для нагрузок P_1 и P_2 , изменяющихся от min до max: а – напряжения от P_1 , б – напряжения от P_2 , в – сумма напряжений от P_1 и P_2 , г – напряжения от суперпозиции нагрузок

С.3-39. 6. Апанович Н.Г. и др. Конструкция, расчет и проектирование тепловозов. – М.: Машиностроение, 1969. – 387 с. 7. Технические требования к проектируемым локомотивам по условиям прочности, динамики и воздействия на путь. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – 20 с. 8. Исследование динамики и прочности вагонов / Под ред. С.И.Соколова. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с 9. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: справочное пособие. Под ред. Б. С. Касаткина. – К., Наукова думка, 1981. – 583 с. 10. Тепловоз 2ТЭ116 / Филонов С.П., Гибалов А.И., Быковский В.Е. и др. – М.: Транспорт, 1985. – 328 с. 11. Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М: Устройство и работа / Филонов С.П., Заборов А.А., Ренкунас В.В. и др. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с.

Поступила в редколлегию 12.01.12