

действенности и целесообразности применения такого способа отстройки от возможного резонанса, соответствующего частоте возбуждения этой машины дебалансным приводом.

В дальнейшем планируется исследовать влияние других конструктивных параметров на отстройку от возможного резонанса с целью определения рациональных вариантов конструкции корпусов вибромашин.

Список литературы: 1. Барчан С.М. Удосконалення методів розрахунку та конструкції вибвної транспортуючої машини для формувальних ліній крупного литва : дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / Барчан Свген Миколайович. – Маріуполь. – 2008. – 178 с. 2. Грабовский А.В. Ударное взаимодействие и динамические процессы в виброударных машинах с частичным разрушением технологического груза: дис. кандидата техн. наук: 05.02.09 / Грабовский Андрей Владимирович. – Харьков, 2010. – 181 с. 3. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. – М. Машиностроение, 1978. – 552 с.

Поступила в редакцию 16.10.2012

УДК 539.3

Т.А. ВАСИЛЬЕВА, мл. науч. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, Харьков;
Л.Л. ТЕПЛИЦКИЙ, ст. гр. ТМ-87Б НТУ „ХПИ”, Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ РАБОТЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ЗАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ИХ УТОНЕНИЯ

У статті описано новий підхід до обґрунтування параметрів елементів машин, які розраховані на тривалий період експлуатації під дією багатоконпонентного навантаження, причому з урахуванням стоншення у процесі роботи. Запропоновано також врахувати зміну ефективної товщини елементів конструкції, що має місце на кінець експлуатації. Запропоновано врахувати сумісну дію різних видів навантаження при визначенні ресурсу елементів машин. Наведені приклади застосування запропонованого підходу до розрахунку рам тепловозів.

Ключові слова: рама магістрального тепловоза, напружено-деформований стан, стоншення від корозії

В статье описан новый подход к обоснованию параметров элементов машин, рассчитанных на длительный период эксплуатации, под действием многокомпонентных нагрузок, причем с учетом утонения в процессе работы. Предложено учитывать совместное действие различных видов нагрузок при определении ресурса элементов машин. Необходимо также учитывать изменение эффективной толщины, которое имеет место к концу срока эксплуатации. Приведены примеры использования предложенного подхода к расчету рам тепловозов.

Ключевые слова: рама магистрального тепловоза, напряженно-деформированное состояние, утонение от коррозии

This paper describes a new approach to justification of parameters of machines elements designed for a long term of work under the influence of multi-component loads taking into account their thinning during work. It's proposed to consider the combined effect of different types of loads to determine the resource of machines elements. It is suggested also to take into account the change of effective thickness, that takes place by the end of term of exploitation. Examples of the use of proposed approach to the analysis of frames of locomotives are presented.

Keywords: frame of locomotive, stressed-deformed state, thinning by corrosion.

© Т.А. Васильева, Л.Л. Теплицкий

Введение. В условиях эксплуатации современные машины испытывают нагрузки различного типа (статические, динамические и, в частности, ударные). При этом с каждым годом повышаются требования к обеспечению работоспособности под воздействием нагрузок с возрастающей интенсивностью. Многокомпонентность нагрузок, действующих на один и тот же элемент машины, является, как правило, их отличительной характеристикой. Одним из примеров элементов конструкций, подверженных нагрузкам подобного типа, может служить рама тепловоза, на которую оказывают воздействие переменные (толчковые и тянущие силы при движении, вибрация, колебания температуры) и постоянные нагрузки (собственный вес конструкции). Именно совокупность нагрузок влияют на длительность ресурса основных элементов машин, продлевая или сокращая его. Дополнительную проблему как для эксплуатации, так и для исследования составляет процесс утонения элементов конструкции вследствие различных факторов (коррозия, абразивный износ и пр.). Все эти факторы, воздействующие на срок службы, например, рамы тепловозов, сильно зависят от самих условий эксплуатации (качество железнодорожного полотна, наличие на трассе больших уклонов, количество и вес вагонов состава, климатические условия [1-11]).

При исследовании по традиционным методикам, как правило, выделяются воздействия отдельных составляющих:

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

Однако, как будет показано далее, некорректно оценивать все воздействия покомпонентно, так как нагрузка является, как правило, многокомпонентной в каждый момент времени и влияет на элементы машин (с точки зрения оценки их прочности) в совокупности.

Ресурс элементов машиностроительных конструкций и их общая прочность при этом рассчитывается обычно

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

Несмотря на то, что машины, работающие в подобных условиях, достаточно распространены, традиционные методики расчета их параметров, в частности, по критериям прочности, не учитывают в полной мере комплексность, в действительности, этого влияния. Все эти конструкции (а сюда, кроме названных рам тепловозов, можно отнести цистерны автотопливозаправщиков, подъемные краны, перегружатели, отвалообразователи и т.п.) в традиционных подходах рассчитываются таким образом, что каждая составляющая нагрузки рас-

считывается по отдельности. Это заметно искажает как общую картину нагружения, так и расчет параметров элементов машин. Следовательно, не учитывается, что все компоненты нагрузки действуют либо одновременно, либо в различной совокупности (в различные моменты времени), 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 как различных компонентов нагрузки, так и физических процессов, состояний. При этом и ограничительно-критериальные факторы также необходимо рассматривать 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. Более детально подход описан в работе [12]. В данной работе делается попытка оценить уровень нелинейности характера зависимости от компонент напряженно-деформированного состояния и изменение механических свойств материала деталей исследуемой машины под действием условий внешней среды.

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. 1).

Конечно-элементная модель рамы показана на рис. 2. Средний размер элемента – 50 мм, количество узлов и элементов в конструкции около – 70 тыс.

На рис. 3-5 представлены характерные распределения полных перемещений и интенсивности напряжений (по Мизесу) от единичных величин P_1 и P_2 и их суммарного воздействия. Численные значения максимальных напряжений и перемещений приведены в табл. 1.

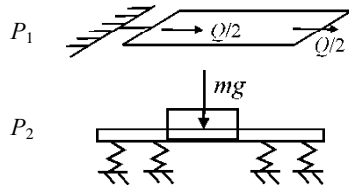


Рис. 1 – Варианты нагружения конструкции

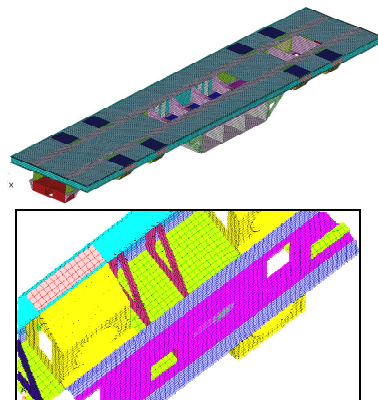


Рис. 2 – Конечно-элементная сетка рамы магистрального тепловоза 2ТЭ10М

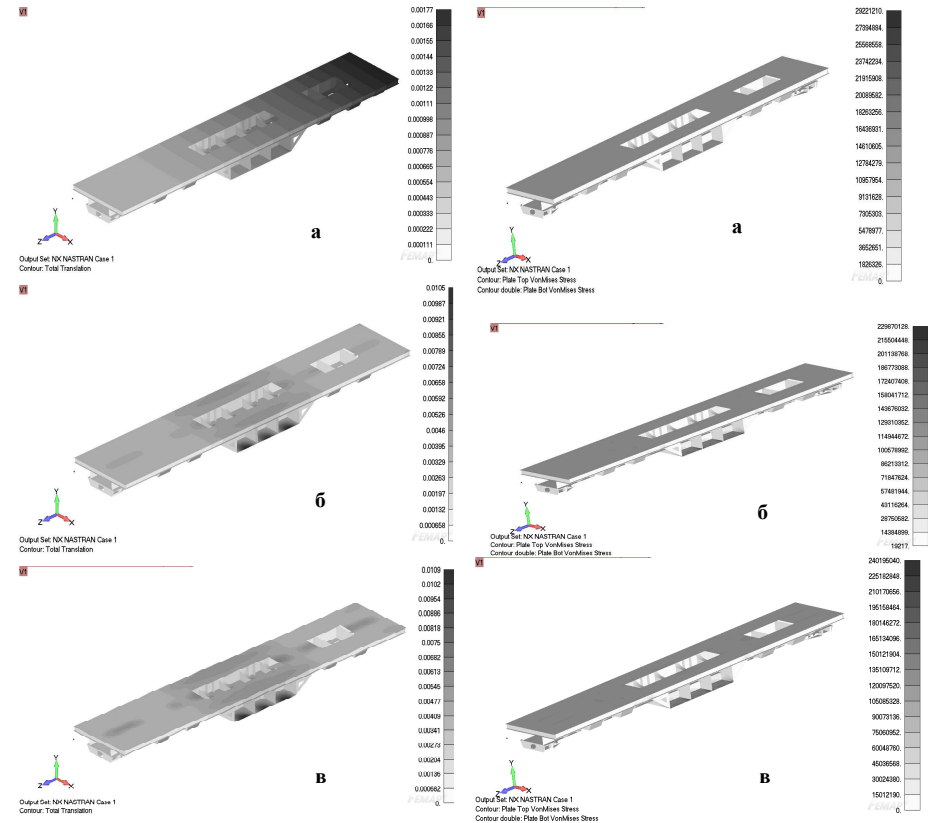


Рис. 3 – Характерные распределения интенсивности перемещений:
а – от величины P_1 , б – от величины P_2 ;
в – от суммарного воздействия величин P_1 и P_2

Рис. 4 – Характерные распределения интенсивности напряжений (изометрический вид сверху):
а – от величины P_1 , б – от величины P_2 ;
в – от суммарного воздействия величин P_1 и P_2

Далее был проведен расчет модели с толщинами, которые могут получиться под действием коррозии в конце срока эксплуатации. Обычно для такого типа конструкций предельные нормативно допускаемые значения коррозионного утонения составляют около 20-25% от общей толщины элементов конструкции. Для проведения тестовых расчетов все толщины были уменьшены на 20%. Картины распределения напряжений и перемещений мало отличаются по характеру от картин, приведенных на рис. 3-5. Ниже в табл. 2 приведены численные значения максимальных напряжений и перемещений по конструкции.

Анализируя результаты, можно отметить, что изменение толщин на 20% приводит к увеличению напряжений и перемещений на 24-46%. Следует заметить, что наибольшая разница достигается в тех расчетах, в которых присутству-

ет гравитационная составляющая. Как видно из таблиц, разница между значениями напряжений, получаемых путем суперпозиции «парциальных» нагрузок и расчетом их совместного действия составляет в данном случае 10-15% (при численной погрешности расчетов методом конечных элементов не более 1.5% при текущей дискретизации сетки).

Таблица 1 – Результаты расчетов компонент НДС рамы магистрального тепловоза 2ТЭ10М

Нагрузки	Напряжения, МПа		Перемещения, мм
	МКЭ	сумма	
8 т	29		1
10 т	36		2
12 т	43		2
0,7 g	229		10
1 g	234		10
1,3 g	239		10
8 т+0,7 g	230	258	10
8 т+1 g	235	265	10
8 т+1,3 g	240	272	10
10 т+0,7 g	230	263	10
10 т+1 g	235	270	10
10 т+1,3 g	240	277	10
12 т+0,7 g	230	268	10
12 т+1 g	235	275	10
12 т+1,3 g	240	282	10

Таблица 2 – Результаты расчетов компонент НДС рамы магистрального тепловоза 2ТЭ10М с учетом коррозионного утонения

Нагрузки	Напряжения, МПа		Перемещения, мм
	МКЭ	сумма	
8 т	36		2
10 т	45		3
12 т	54		3
0,7 g	334		10
1 g	338		10
1,3 g	343		10
8 т+0,7 g	334	370	10
8 т+1 g	338	379	10
8 т+1,3 g	343	388	10
10 т+0,7 g	334	374	10
10 т+1 g	338	383	10
10 т+1,3 g	343	392	19
12 т+0,7 g	334	379	19
12 т+1 g	338	388	19
12 т+1,3 g	343	397	19

Выводы. В статье показано, что арифметическая сумма отдельных критерияльных величин, полученных из результатов расчетов компонент НДС рамы магистрального тепловоза 2ТЭ10М, не совпадает со значениями, полученными для случая совместного нагружения, особенно с учетом эффекта утонения от коррозии. В ходе работы были найдены места повышенной концентрации напряжений, на которые следует обратить внимание при эксплуатации.

Представленный в статье подход может опираться на технологию обобщенного параметрического описания физико-механических процессов и состояния сложных механических систем [3], трактуя и компоненты нагрузок, и критерияльные величины, и механические свойства материалов как обобщенные параметры. При этом необходимо апробировать его для случаев расчета различных машин, в том числе и при стохастическом распределении компонент нагрузок. Также необходимо подобрать подход к оценке влияния утонения от коррозионного износа на напряженно-деформированное состояние. Не менее важным явля-

ется необходимость в математической формализации подхода. Это и составляет направление дальнейших исследований.

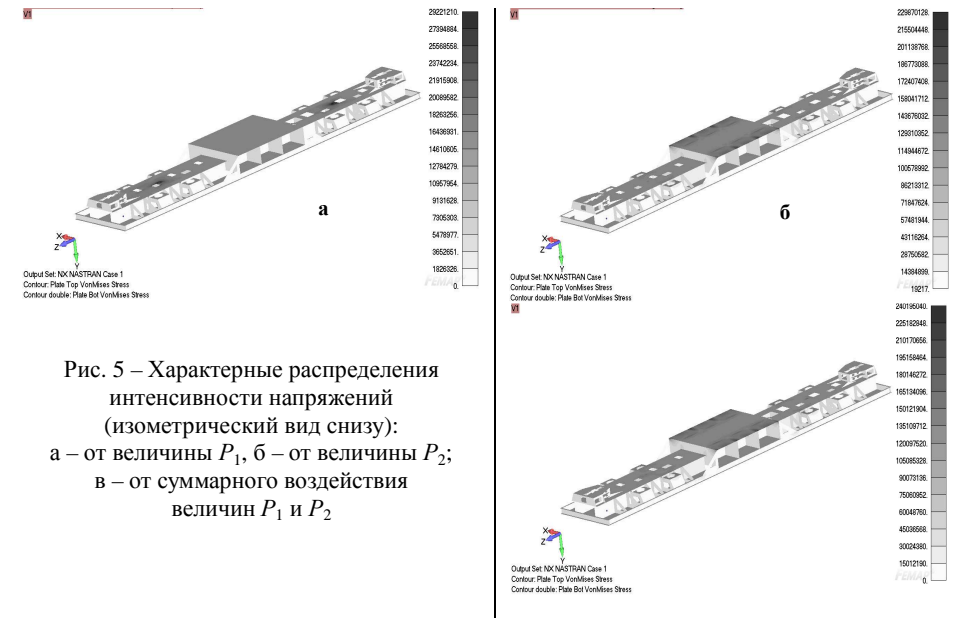


Рис. 5 – Характерные распределения интенсивности напряжений (изометрический вид снизу): а – от величины P_1 , б – от величины P_2 ; в – от суммарного воздействия величин P_1 и P_2

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”. – 2007. – №.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. – 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. *Филонов С.П., Гибалов А.И., Быковский В.Е. и др.* Тепловоз 2ТЭ116. – М.: Транспорт, 1985. – 328 с. 11. *Филонов С.П., Заборов А.А., Ренкунас В.В. и др.* Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М: Устройство и работа. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с. 12. *Васильева Т.А.* Совершенствование методов расчета элементов машин с длительным сроком работы при действии многокомпонентной нагрузки // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: „Машиноведение и САПР”. – 2012. – №.22. – С.27-32.

Поступила в редколлегию 16.11.2012