

УДК 539.3

ЛАЗАРЕВА Д.В., ПОТАПЕНКО А.И., СУРЬЯНИНОВ Н.Г.
Одесский национальный политехнический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РАМ

Мета. Експериментальна перевірка чисельних математичних моделей великогабаритних рам.

Методика. Конструкція рами розрахована методом скінчених елементів в ANSYS і чисельно-аналітичним методом граничних елементів в MATLAB, після чого у виявлених чисельними розрахунками трьох небезпечних вузлах наклеєні датчики для визначення напружень експериментальним шляхом.

Результати. Досліджувалися вузли: стінка поперечки в місці примикання до лонжерона; нижня полиця лонжерона, стінка лонжерона в місці кріплення задньої підвіски. Виміри проводилися для характерного циклу роботи рами: холостий хід, навантаження контейнера, транспортування й зняття контейнера. Погрішність між результатами розрахунків, отриманими на основі двох чисельних методів і експериментальними даними, становить 4-5 %.

Наукова новизна. Розвиток інженерних методів проектування великогабаритних рам.

Практична значимість. Спільне використання експериментальних досліджень і розрахункових програм дозволяє уникнути багатьох традиційних помилок, що виникають при проектуванні.

Ключові слова: великогабаритна рама, метод скінчених елементів, метод граничних елементів, натурний експеримент.

Введение. Основной несущей конструкцией многих технических объектов является система, состоящая из перекрестных балок, как правило, тонкостенного поперечного сечения. Их соединение в единое целое осуществляется при помощи сварки, клепки или болтов, причем, дополнительно устанавливаются разного рода накладки, косынки и т. п.

Для идентификации этих систем часто используют термин, заимствованный из механики, — «пространственная рама». Такое название представляется не вполне оправданным, поскольку пространственная рама состоит из плоских рам, т. е. из элементов, лежащих в одной плоскости.

Постановка задачи. Разветвленная и несимметричная геометрия таких систем, наличие совершенно разных по конфигурации и условиям работы элементов, делают невозможным применение общих аналитических методов строительной механики для их расчета. Поэтому на протяжении длительного периода в разных областях техники использовались приближенные подходы, ориентированные исключительно на данную отрасль — транспортное машиностроение, судостроение, авиация, строительство и т. д. Не учитывались также пространственное действие нагрузок, вызывающее помимо изгиба еще и кручение, упругие деформации узлов, вертикальные и горизонтальные эксцентриситеты осей

стержней в этих узлах, а также особенности работы элементов системы как тонкостенных стержней при кручении, сопровождающиеся значительными нормальными напряжениями.

Несколько позже появились новые методы расчета, в которых учитывалось, что конструктивные элементы САТС чаще всего являются тонкостенными стержнями. Это направление получило развитие в работах В.З. Власова [1], его последователей и учеников.

Учет всех указанных выше особенностей крупногабаритных рам стал возможен на основе использования численных методов с применением современной компьютерной техники и наукоемких САПР. В ряде наших работ выполнены теоретические и компьютерные исследования подобных рам на основе двух разных математических моделей — конечно-элементной и гранично-элементной [2-5]. Получены близкие результаты, которые, тем не менее, нуждаются в экспериментальной проверке.

С этой целью выполнены натурные испытания двухосного полуприцепа-платформы (рис. 1). Конструкция была рассчитана методом конечных элементов в ANSYS [6] и численно-аналитическим методом граничных элементов [7] в MATLAB, а потом в выявленных в ANSYS трех опасных узлах наклеенные датчики для определения напряжений экспериментальным путем.

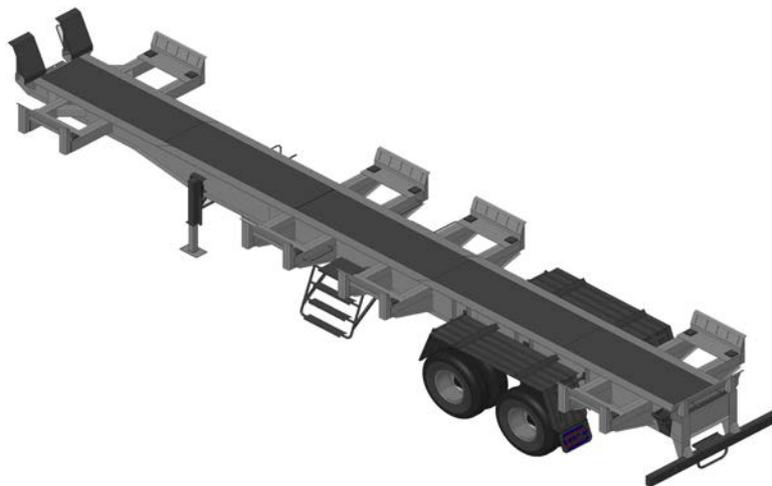


Рис. 1. Двухосный полуприцеп-платформа

Исследовались следующие узлы: стенка поперечины в месте примыкания к лонжерону; нижняя полка лонжерона, где возникают максимальные напряжения; стенка лонжерона в месте крепления задней подвески. Измерения проводились для характерного цикла работы рамы: холостой ход, нагрузка контейнера, транспортировка и снятие контейнера.

Результаты исследования. Натурный эксперимент выполнен с использованием тензодатчиков с малой базой. Информация, полученная в результате деформации тензодатчиков, фиксировалась в вольтах. Для перевода ее в величины абсолютных деформаций использовано тарировочное устройство. Пересчет деформаций в напряжения (при угле между осями датчиков 45 градусов) осуществлен по формуле

$$\sigma_{1,2} = \frac{E}{1-\mu} \cdot \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \pm \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + [2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)]^2} . \quad (1)$$

Для измерения деформаций использованы первичные преобразователи КФ 5П1-5-200-Б-12 с номинальным сопротивлением 200 Ом.

При наклеивании первичных преобразователей полуприцеп находился в разгруженном состоянии. В этом положении первичные преобразователи не имели деформации. Тензодатчики защищались от влаги нанесением на них влагонепроницаемого компаунда на основе парафина. На рис. 2 показан монтаж розетки тензодатчиков в одной из исследуемых точек (точка 3).



Рис. 2. Монтаж розетки тензодатчиков

Вес контейнера составил 21 т. Данные с первичных преобразователей были записаны с помощью программы PowerGraph 3.3 на ПЭВМ. По деформациям определялись главные напряжения (1), а затем — напряжения по Мизесу (рис. 3):

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} , \quad (2)$$

где σ_1 , σ_2 — главные напряжения.

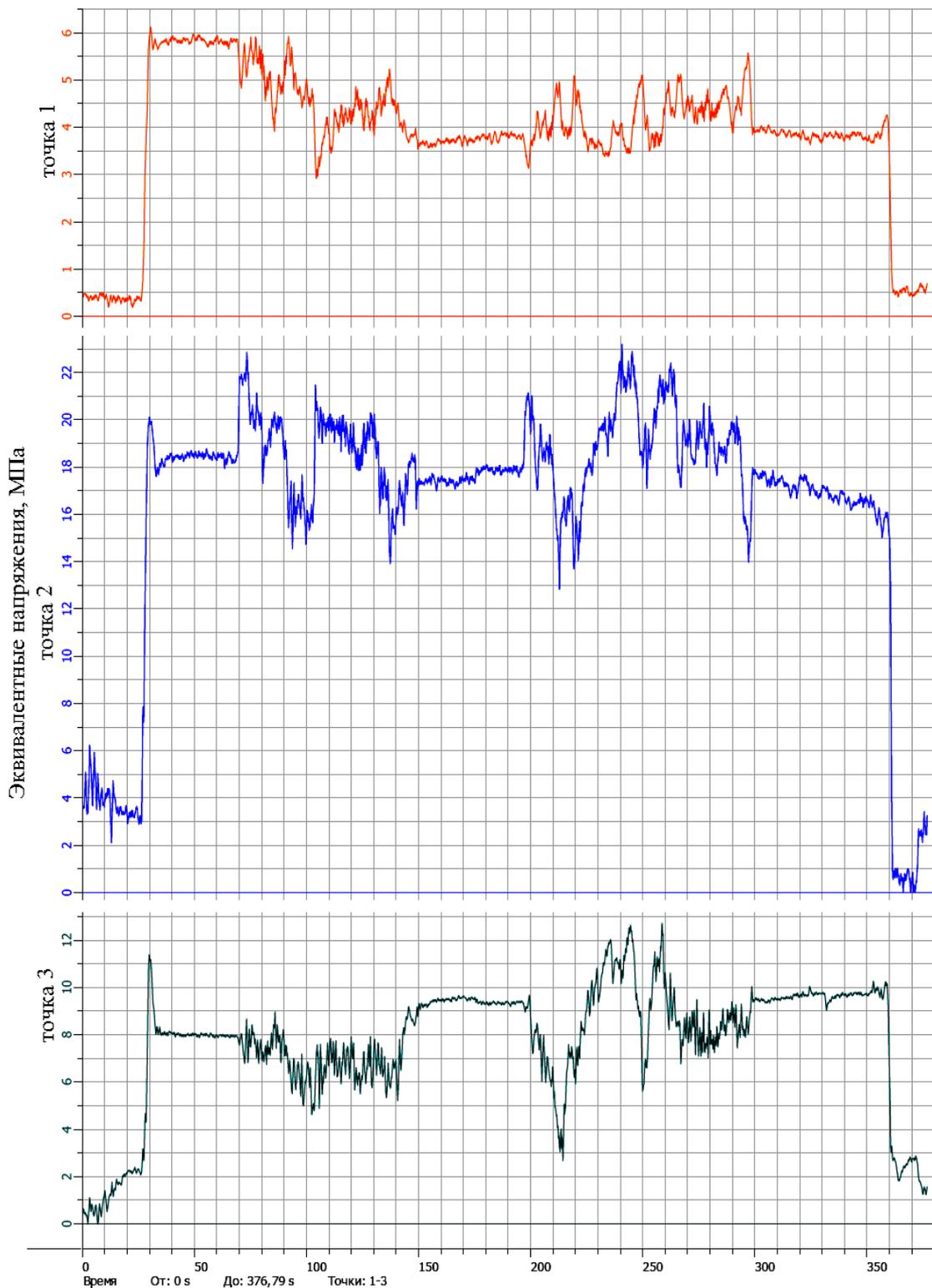


Рис. 3. Изменение эквивалентных напряжений в течение полного цикла работы рамы

Тензометрические испытания проводились при нагрузке 21 т, а максимальная заявленная нагрузка на полуприцеп равна 60 т. Поэтому, напряжения, возникающие при полном цикле работы полуприцепа под действием заявленной нагрузки, были пересчитаны.

Результаты вычислений и экспериментальные данные для точек 2 и 3 при трех режимах движения приведены в табл. 1, а погрешность вычислений указана в табл. 2.

Таблица 1. Напряжения, полученные двумя методами, и экспериментально

№ точ- ки	Положение груза	Напряжение, МПа								
		Движение по прямой			Поворот направо			Поворот налево		
		Эксп.	МКЭ	МГЭ	Эксп.	МКЭ	МГЭ	Эксп.	МКЭ	МГЭ
2	Начальное	20,1	19,20	19,33	18,0	17,1	18,74	-	-	-
	Сдвиг	19,75	18,88	20,65	16,2	16,82	17,12	19,85	18,93	20,69
3	Начальное	7,9	8,31	8,24	6,5	6,14	6,24	-	-	-
	Сдвиг	9,2	8,85	9,75	5,15	5,0	5,36	11,4	10,89	11,87

Таблица 2. Погрешность вычислений

№ точ- ки	Положение груза	Погрешность по отношению к эксперименту, %					
		Движение по прямой		Поворот направо		Поворот налево	
		МКЭ	МГЭ	МКЭ	МГЭ	МКЭ	МГЭ
2	Начальное	4,47	3,83	5,0	4,11	-	-
	Сдвиг	4,41	4,56	3,83	5,68	4,63	4,23
3	Начальное	5,19	4,3	5,54	4,0	-	-
	Сдвиг	3,8	5,98	2,91	4,1	4,47	4,1

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что погрешность между результатами расчетов, полученными на основе двух численных методов и экспериментальными данными, составляет 4-5 %.

Данные, полученные в результате измерений с помощью первичных преобразователей, хотя и отображают реальную картину распределения деформаций и напряжений в течение полного цикла эксплуатации, но их существенным недостатком является дискретность. Вторым недостатком состоит в том, что конечную информацию желательно получить в виде напряжений в наиболее опасных местах, однако расположение этих мест заранее неизвестно. Зачастую они определяются, основываясь на опыте исследователей. Неверное определение опасных зон в исследуемом объекте не дает необходимых данных проектировщику, что приводит к бесполезности полученной информации применительно к расчетам.

С другой стороны, расчет металлоконструкций в современных расчетных программах дает непрерывные поля деформаций и напряжений, но при этом имеет место определенная схематизация нагрузок, не все они могут быть точно определены. Следовательно, уже на стадии расчетной модели закладывается довольно значительная погрешность. Совместное использование измерений с помощью первичных преобразователей и расчетных программ позволяет избежать многих описанных выше ошибок.

Список использованных источников

1. Власов В. З. Избранные труды. Т. 3. Тонкостенные пространственные системы / В. З. Власов. – М. : Книга по Требованию, 2013. – 488 с.
2. Дашенко А. Ф. Анализ напряженно-деформированного состояния рамы автомобильного полуприцепа в программе ANSYS / А. Ф. Дашенко, Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Труды Харьковского НАДУ. – 2005. – С. 15–17.
3. Лазарева Д. В. Конечно-элементный анализ несущей рамы контейнеровоза / Лазарева Д. В. // Холодильна техніка і технологія ОДАХ. – 2007. – №3 (107). – С. 77–78.
4. Сурьянинов Н. Г. Напряженно-деформированное состояние рамы контейнеровоза при предельных режимах нагружения / Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – № 26(352). – С. 283–289.
5. Оробей В. Ф. Расчет пространственных стержневых систем методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, Д. В. Лазарева, Г. Н. Козолуп // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 45. – С. 182–183.
6. Дашенко А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А. Ф. Дашенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов ; под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Одесса : Пальмира, 2011. – 505 с.
7. Численно-аналитический метод граничных элементов : в 2-х т. Т. 1. / А. Ф. Дашенко, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса : ВМВ, 2010. – 416 с.

Список использованных источников

1. Власов В. З. Избранные труды. Т. 3. Тонкостенные пространственные системы / В. З. Власов. – М. : Книга по Требованию, 2013. – 488 с.
2. Дашенко А. Ф. Анализ напряженно-деформированного состояния рамы автомобильного полуприцепа в программе ANSYS / А. Ф. Дашенко, Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Труды Харьковского НАДУ. – 2005. – С. 15–17.
3. Лазарева Д. В. Конечно-элементный анализ несущей рамы контейнеровоза / Лазарева Д. В. // Холодильна техніка і технологія ОДАХ. – 2007. – №3 (107). – С. 77–78.
4. Сурьянинов Н. Г. Напряженно-деформированное состояние рамы контейнеровоза при предельных режимах нагружения / Н. Г. Сурьянинов, Д. В. Лазарева // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – № 26(352). – С. 283–289.
5. Оробей В. Ф. Расчет пространственных стержневых систем методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, Д. В. Лазарева, Г. Н. Козолуп // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 45. – С. 182–183.
6. Дашенко А. Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А. Ф. Дашенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов ; под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Одесса : Пальмира, 2011. – 505 с.
7. Численно-аналитический метод граничных элементов : в 2-х т. Т. 1. / А. Ф. Дашенко, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса : ВМВ, 2010. – 416 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РАМ

ИССЛЕДОВАНИЯ

АСИММЕТРИЧНЫХ

ЛАЗАРЕВА Д.В., ПОТАПЕНКО А.И., СУРЬЯНИНОВ Н.Г.

Одесский национальный политехнический университет

Цель. Экспериментальная проверка численных математических моделей крупногабаритных рам.

Методика. Конструкция рамы рассчитана методом конечных элементов в ANSYS и численно-аналитическим методом граничных элементов в MATLAB, после чего в выявленных численными расчетами трех опасных узлах наклеены датчики для определения напряжений экспериментальным путем.

Результаты. Исследовались узлы: стенка поперечины в месте примыкания к лонжерону; нижняя полка лонжерона, стенка лонжерона в месте крепления задней подвески. Измерения проводились для характерного цикла работы рамы: холостой ход, нагрузка контейнера, транспортировка и снятие контейнера. Погрешность между результатами расчетов, полученными на основе двух численных методов и экспериментальными данными, составляет 4-5%.

Научная новизна. Развитие инженерных методов проектирования крупногабаритных рам.

Практическая значимость. Совместное использование экспериментальных исследований и расчетных программ позволяет избежать многих традиционных ошибок, возникающих при проектировании.

Ключевые слова: крупногабаритная рама, метод конечных элементов, метод граничных элементов, натурный эксперимент.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF ASYMMETRICAL LARGE FRAME

LAZAREVA D.V., POTAPENKO H.I., SURYANINOV N.G.

Odessa National Polytechnic University

Purpose. Experimental verification of numerical mathematical models of large frames.

Methodology. The frame construction is designed using finite element method in ANSYS and analytical-numerical method of boundary elements in MATLAB, and then identified in the numerical calculations of three dangerous sites pasted sensors to determine the stress experimentally.

Findings. We investigated the nodes: wall cross at the junction to the spar; lower shelf spar, spar wall at the site of rear mount. Measurements were carried out for the characteristic cycle of the frame: idling, load container, transportation and removal of container. The error between the calculated results obtained from the two experimental methods and numerical data, is 4-5%.

Originality. Development of engineering design methods of large frames.

Practical value. Sharing of experimental studies and theoretical programs avoids many traditional errors occurring in the design.

Keywords: large frame, finite element method, boundary element method, natural experiment.