

Рисунок 5 – 1-я собственная частота

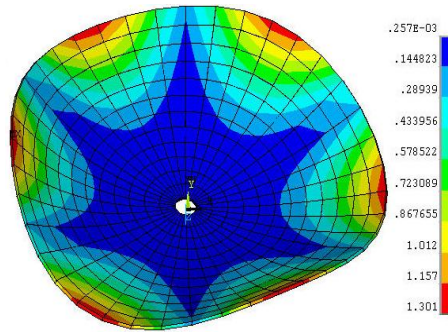


Рисунок 6 – 6-я собственная частота

**Список литературы:** 1. *Самойлович Г.С.* Гидрогазодинамика. – М. Машиностроение, 1990. – 384 с. 2. *Farmer R., Pike R., Cheng G.* CFD analyses of complex flows // *Comput. and Chem. Eng.* – 2005. – Volume 29, № 11-12. – P. 2386-2403. 3. *L'vov V.S., Nazarenko S.* Differential model for 2D turbulence // *Письма в ЖЭТФ.* – 2006. – Т. 83, № 11-12. – С. 635-639. 4. *Аксенов А.А., Шмелев В.В., Смирнова М.Л., Банкрутенко В.В., Нетронин И.В., Будников А.В., Рогожкин С.А.* Сертификация системы моделирования движения жидкости и газа FlowVision // САПР и графика. – 2006. – № 4. – С. 80-85. 5. *Богомолов С.И., Назаренко С.А., Симсон Э.А.* Расчет и оптимизация оболочек общей формы на базе смешанного подхода МКЭ // *Динамика и прочность тяжелых машин.* – 1986. – С. 91-97. 6. *Назаренко С.А.* Анализ чувствительности конструкций при воздействии физических полей различной природы // *Вестник НТУ «ХПИ».* – 2006. – № 32. – С. 119-122.

*Поступила в редколлегию 04.07.2008.*

УДК.621.757.083

**И.Л.ОБОРСКИЙ**, канд.техн.наук, Киевский национальный университет технологий и дизайна;

**А.Г.АНДРЕЕВ**, канд.техн.наук; **А.В.ЩЕПКИН**, НТУ «ХПИ»;

**Б.М.АРПЕНТЬЕВ**, докт.техн.наук, Украинская педагогическая академия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ С ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЕМ**

На основі порівняння даних аналітичних та експериментальних досліджень визначено величину збільшення діаметра посадки бандажа складеного колеса електровагона при нагріванні та зменшення діаметра посадки центра при його низькотемпературному охолодженні, а також встановлено напружено-деформований стан деталей з'єднання після формування натягу.

On the basis of comparison of analytical and experimental researches data the size of increase in diameter of heavy-shrink fitting of the electrocar wheel bandage is certain at heating and reduction of diameter of heavy-shrink fitting of the center at it low-temperature cooling, and also the is intense-deformed condition of details of connection after formation of a tightness is installed.

**Постановка проблеми.** Одной из наиболее актуальных для технологии машиностроения проблем является создание соединений с натягом с повы-

шенными эксплуатационными показателями, которые могут быть в целом ряде случаев обеспечены использованием сборки с нагревом охватывающих и низкотемпературным охлаждением охватываемых деталей, при которой их соединение обеспечивается с временнообразованным зазором. Решение проблемы неразрывно связано с установлением совокупности различных нормативных сборочных параметров, оценкой их величин и совершенствованием при этом технологических процессов сборки в целом. Успешное решение этой проблемы требует выбора или определения множества взаимосвязанных технологических и конструктивных параметров, в частности, температур нагрева и низкотемпературного охлаждения, их рационального перепада между сопрягаемыми деталями, величины временнообразованного зазора при взаимном соединении деталей и напряженно-деформированного их состояния после формирования натяга и выравнивания температур. Использование такой технологии и методологии выбора сборочных параметров позволит производителям при минимальных затратах создавать современные изделия с соединениями с натягом.

**Анализ предыдущих исследований.** В работах [1-2] установлены взаимодействующие во времени и пространстве связи и физические закономерности протекания операций технологического процесса сборки соединений с натягом, осуществляемых с использованием нагрева и низкотемпературного охлаждения. Разработаны некоторые направления повышения их качества и автоматизации процесса, выполнена оценка отдельных основных показателей. Приводится основная номенклатура технологических и конструктивных параметров процесса сборки соединений деталей с натягом, осуществляемых термическими способами, и проведена оценка их величин. Однако анализ научно-технической литературы и производственного опыта показывает, что для определения сборочных параметров, оценивающих возможность качественной и экономически обоснованной технологии сборки соединений с натягом, формируемых с помощью термовоздействия, необходимо проведение исследований по определению величины изменения диаметра посадки бандажа и центра составного колеса электровагона при нагревании одной детали и низкотемпературном охлаждении другой, а также установление НДС соединения после формирования натяга и выравнивания температур сопрягаемых деталей.

**Целью работы** является разработка методологии выбора рациональных нормативных технологических и конструктивных сборочных параметров, обеспечивающих высококачественную и экономически целесообразную технологию сборки соединений с натягом, осуществляемых с термовоздействием.

Для осуществления качественной сборки соединений с натягом с временно образованным зазором необходимо обеспечить в начальный момент установки охватываемой детали в охватывающую необходимую величину разности диаметров  $\Delta d$  собираемых деталей. Она должна быть больше значения зазора в момент начала контакта  $S_H$  и соединения деталей без заклинивания  $S_{MIN}$ . Это возможно обеспечить выбором рациональных температур термовоздействия на сопрягаемые детали.

В настоящее время в производстве при сборке соединений с натягом термическими методами находят широкое применение режимы неравномерного нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей. Для реализации процесса сборки предварительно определяют необходимую величину (перемещение) увеличения при нагревании или уменьшения при охлаждении диаметра посадки деталей, что должно обеспечить заданный временной сборочный зазор, который исключит повреждение сопрягаемых поверхностей. Выбор необходимого значения увеличения диаметра посадки при нагревании или уменьшения при охлаждении необходимо осуществлять с учетом толщины стенок осесимметричных деталей [3-6].

**Результаты проведенных исследований.** Расчеты в исследовании проводилось с использованием МКЭ. При этом предварительно исследовался закон изменения температуры бандажа при его нагреве и центра при охлаждении, измерялись перемещения на диаметре посадки после прекращения термовоздействия на сопрягаемые детали, а затем выполнялся расчет МКЭ.

На рис. 1 представлено поперечное сечение спицевого колеса электровоза и схема установки термопар в деталях соединения.

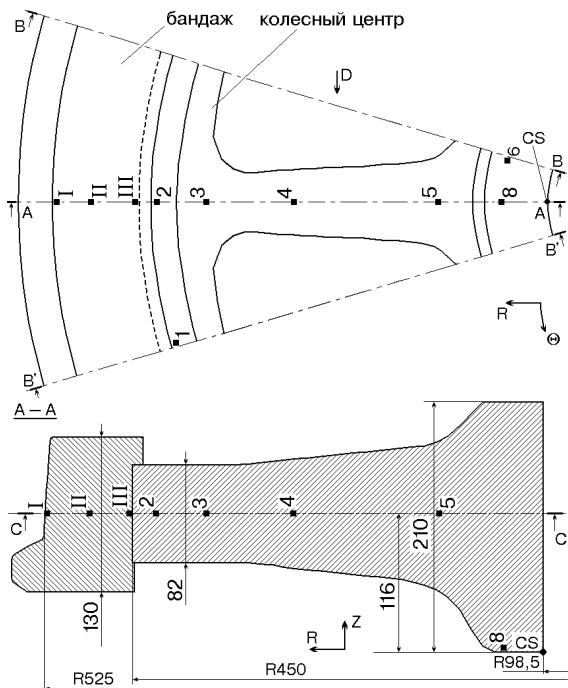


Рисунок 1 – Поперечное сечение спицевого колеса электровоза и схема установки термопар в деталях соединения

Характеристики материала колеса:

- модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^{-5}$  МПа;
- коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ;
- коэффициент температурного расширения  $\alpha = 11,9 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ ;
- коэффициент теплоемкости  $c = 460$  Дж/кг · град;
- коэффициент теплопроводности  $K = 46$  Вт/м · град
- удельная плотность  $\rho = 7800$  кг/м $^3$ .

При расчете МКЭ расширения бандажа при его нагреве и уменьшения диаметра посадки центра при охлаждении для последующей их сборки бандаж рассматривался как тело вращения и был разбит на тороидальные КЭ треугольного поперечного сечения (рис. 2), число элементов – 253, узлов – 153, матрица жесткости состоит из 13158 чисел.

Сектор колесного центра, содержащий половину спицы был разбит на призматические изопараметрические КЭ с восемью узлами, число элементов – 3000, узлов – 3914, матрица жесткости состоит из 3,81 млн. чисел (рис. 3).

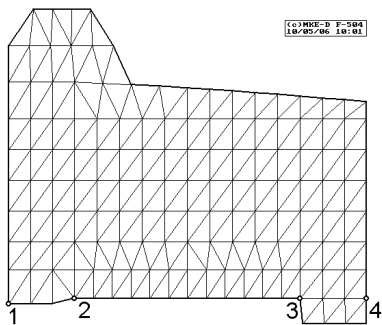


Рисунок 2 – Разбиение бандажа

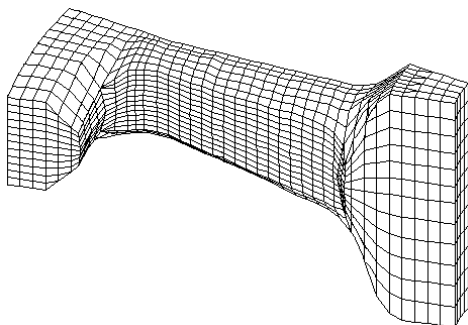


Рисунок 3 – Разбиение колесного центра на КЭ

Экспериментальные данные по охлаждению колесного центра жидким азотом для последующей сборки колеса приведены в табл. 3. Расположение термопар показано на рис. 1. Радиальные перемещения в колесном центре на радиусе посадки в процессе его охлаждения приведены в табл. 4, схема расположения точек, в которых даются значения перемещений, показана на рис. 4.

Экспериментальные данные о нагреве бандажа для последующей сборки колеса приведены в табл. 1. Время нагрева составляет 15 мин. Перемещения в бандаже на радиусе посадки при его нагреве приведены в табл. 2, схема расположения точек, в которых даются значения расширения бандажа, показана на рис. 2. В расчете предполагается, что температура изменяется между термопарами по линейному закону в радиальном направлении, в осевом и окружном направлении она постоянна.

На основании экспериментальных данных было выбрано несколько режимов охлаждения колесного центра (табл. 5), для которых были подобраны соответствующие режимы нагрева бандажа (табл. 6). Предполагалось, что бандаж получает тепло от индукционно-нагревательного устройства в зоне поверхности катания в течении 10 мин. Мощность нагрева подбиралась из ус-

ловия получения заданного расширения бандажа. Температурная задача для бандажа решалась МКЭ с использованием разбиения на конечные элементы, приведенного на рис. 2. Значение натяга принято равным 1,4 мм.

На рис. 5 показано распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  в поперечном сечении собранного колеса, на рис. 6 – в колесе, посаженном на ось. Величина натяга в соединении колесо-ось составляет 0,2 мм.

Таблица 1 – Температура бандажа, нагреваемого для сборки колеса, град

Момент времени с начала нагрева, мин.	№ термопары и радиус ее расположения					
	1 – 545 мм	2 – 520 мм	3 – 505 мм	4 – 490 мм	5 – 470 мм	6 – 450 мм
11	278	231	162	126	89	39
12	291	242	180	148	111	69
13	300	256	196	163	130	92
14	314	314	298	274	244	208
15	320	320	314	288	260	221,5
15,5	310,5	310,5	290	269,5	252	240,5
16	298,5	296,5	276	264	248	228
17	281,0	280	270	256,5	245,5	233,5
18	264	260	257	253,5	245,5	236

Таблица 2 – Радиальное перемещение бандажа в результате действия температурного поля,  $\mu \cdot 10^6$ , м

Момент времени с начала нагрева, мин.	Тепловая энергия, МДж	Номера точек замеров			
		1	2	3	4
11	14,64	758	742	527	417
12	17,02	857	841	642	541
13	19,00	940	925	736	641
14	30,352	1379	1387	1303	1248
15	31,887	1440	1451	1378	1327
15,5	30,697	1392	1395	1330	1292
16	29,544	1338	1342	1281	1245
17	28,745	1293	1298	1257	1232
18	27,856	1245	1250	1229	1216

Таблица 3 – Температура в колесном центре при его охлаждении, град.

Момент времени	№ термопары						
	8	6	5	4	3	2	1
30 с.	-10	-16	-35	-45	-40	-10,5	-16,5
120 с.	-90	-70	-110	-120	-115	-60	-80
300 с.	-	-120	-195	-195	-185	-125	-145
330 с.	-185	-185	-195	-195	-195	-195	-195

Таблица 4 – Радиальные перемещения в колесном центре при его охлаждении,  $\mu \cdot 10^6$ , м

№ точки	№ узла	Время с начала процесса охлаждения			
		30 с.	120 с.	300 с.	330 с.
2	3718	-238,4	-579,6	-907,8	-1054
2a	3788	-239,3	554,6	-908,3	-1056
3	3800	-237,2	-577,8	-904,2	-1054
3a	3860	-238,2	-553,0	-905,0	-1056

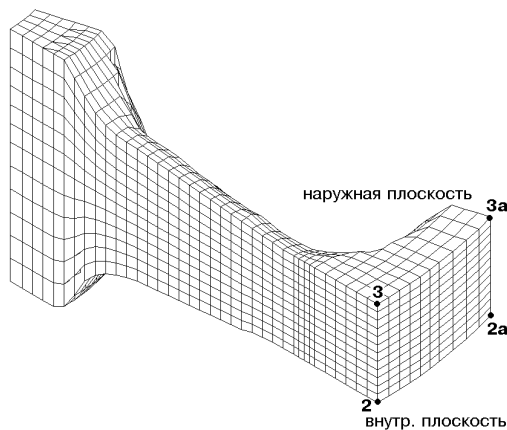


Рисунок 4 – Схема расположения точек, в которых даются значения перемещений колесного центра

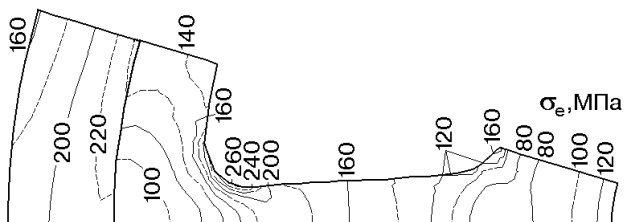


Рисунок 5 – Распределение напряжений  $\sigma_e$  в собранном колесе

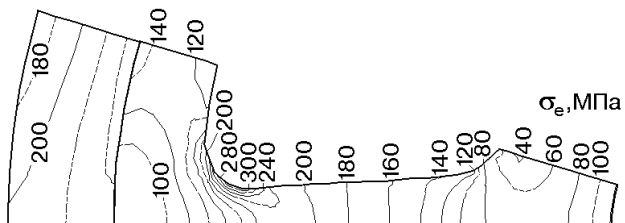


Рисунок 6 – Распределение напряжений  $\sigma_e$  в колесе, посаженном на ось

**Выводы.** Анализ аналитических и расчетно-экспериментальных данных

показал необходимость точного определения величины перемещений, что позволяет уточнить рациональный перепад температур между сопрягаемыми деталями, необходимый уровень нагрева  $T_n$  охватывающей детали, обеспечить выбор соответствующих теплоносителей и оснащения для выполнения операций термовоздействия.

Таблица 5 – Температура в колесном центре при его охлаждении в начальный момент контакта, град.

Вариант	№ термопары							Сжатие колесного центра $m \cdot 10^6$
	8	6	5	4	3	2	1	
1	-185	-185	-195	-195	-195	-195	-195	1055
2	-90	-70	-110	-120	-115	-60	-80	-556
3	0	0	0	0	0	0	0	-97
4	20	20	20	20	20	20	20	0

Таблица 6 – Температура в бандаже, обеспечивающая соединение с колесным центром, охлажденным по вариантам 1-4, град.

Вариант	$r = 0,45$	$r = 0,47$	$r = 0,492$	$r = 0,514$	$r = 0,525$	Затраты энергии, Мдж	Расширение бандажа, $m \cdot 10^6$
	м	м	м	м	м		
1	79	81	87	92	106	8,1	345
2	163	167	183	195	228	19,6	844
3	240	247	271	290	341	30,3	1303
4	256	264	289	309	364	32,5	1400

**Список литературы:** 1. *Оборский И.Л., Зенкин А.С., Климаш В.Г.* Определение параметров процесса сборки соединений деталей с натягом с временнообразуемым зазором // Изв.вузов: Машиностроение. – М. – 1983. – С. 140-143. 2. *Зенкин А.С., Арпентьев Б.М.* Сборка неподвижных соединений термическими методами. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с. 3. *Тимошенко С.П.* Сопротивление материалов. Т.1. – М.-Л., 1945. – С. 216-241. 4. *Тимошенко С.П.* Курс теории упругости / Ред. Григolloк Э.И. – К.: Наукова думка, 1972. – 507 с. 5. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 491 с. 6. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

Поступила в редколлегию 12.05.2008

УДК 531

**Н.В.ПЕРЕПЕЛКИН, Ю.В.МИХЛИН**, докт. физ.-мат. наук; НТУ «ХПИ»

## О НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Розглянуто стаціонарні режими у неідеальній системі, в якій відбувається взаємодія між джерелом енергії (двигуном) та лінійною пружною підсистемою, досліджено стійкість цих режимів. Чисельно-аналітичними методами досліджується ефект Зоммерфельда. Аналізується вплив нелінійного гасителя на динамічну поведінку системи.