

ВЛИЯНИЕ БАЛЛАСТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ВЫСОТЕ СЕЧЕНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

В статье рассмотрен вопрос влияния балласта на распределение напряжений по высоте сечения сталежелезобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. Представлены результаты натурных испытаний и расчетов, выполненных по конечно-элементным схемам.

В течение ряда лет в НИЛ «Мосты» СГУПС проводились исследования по разработке методики диагностики технического состояния сталежелезобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. В основу этой методики была положена оценка отклика конструкции на внешнее воздействие, в частности оценка величины напряжений, полученных при измерении деформаций поясов стальных балок под проходящими нагрузками. Измерения проводились под локомотивами поездов, поскольку в отличие от вагонной нагрузки вес их известен. Кроме того, длины большинства пролетов таковы, что на них возможно расположение только локомотива поезда, а это позволяет достаточно точно оценивать величину действующей нагрузки.

Будем в дальнейшем условно называть напряжения, вычисленные по измеренным деформациям, измеренными напряжениями.

Нагрузки, под которыми производятся измерения, далеки от предельных, и случай предельного состояния не реализуется. Поэтому при сопоставлении расчетных и измеренных напряжений следует учитывать влияние жесткости балласта и элементов верхнего строения пути, которая в предельном состоянии естественно не может присутствовать. Это тем более необходимо, потому что именно величина разницы расчетных и полученных напряжений является основным показателем исправности работы конструкции и далее используется для оценки грузоподъемности пролетного строения.

В связи с этим возникла необходимость оценить степень влияния ВСП на измеряемые напряжения и предложить способ учета такого влияния. Для этого были выполнены расчеты как с применением инженерных методов, так и методом конечных элементов.

Пролетные строения были смоделированы при помощи вычислительного комплекса COSMOS/M. Геометрические параметры созданных моделей пролетных строений были приняты согласно данным типового проекта инв. № 739/2, 739/3, 739/4, 739/6 и 739/7 для пролетов 23,0; 27,0; 33,6; 45,0 и 55,0 м соответственно.

Главные балки моделировали 4-узловыми пластинчатыми конечными элементами (КЭ) типа «SHELL4», продольные и поперечные связи — 2-узловыми КЭ типа «BEAM3D». В качестве примера на рис. 1 представлена конструкция главных балок пролетного строения $L_p = 23,0$ м.

В качестве материала главных балок принята сталь марки 15ХСНД со следующими характеристиками:

- модуль упругости $E_x = 2,06 \cdot 10^8$ кПа;
- коэффициент Пуассона ν , равный 0,3;
- плотность «DENS», равная 7850 кг/м³.

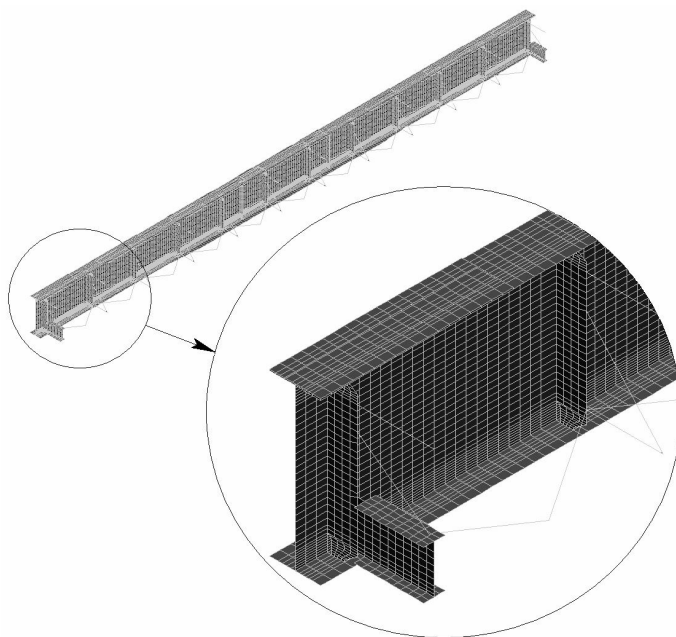


Рис. 1. Модель главных балок (разрез по оси) пролетного строения $L_p = 23,0$ м

На верхние пояса главных балок были установлены железобетонные плиты балластного корыта, включенные в совместную работу с ними при помощи упоров. Плиты моделировали 8-узловыми объемными КЭ типа «SOLID» по опалубочным размерам.

Материал плит балластного корыта:

- 1) бетон марки М300 для пролетов 18,2 м, 23,0 м, 27,0 м, 45,0 м:
 - модуль упругости $E_x = 2,85e + 7$ кПа (бетона класса В30);
 - коэффициент Пуассона ν , равный 0,2;
 - плотность «DENS», равная 2500 кг/м³;
- 2) бетон марки М400 для пролетов 33,6 м и 55,0 м:
 - модуль упругости $E_x = 3,25e + 7$ кПа (бетон класса В40);
 - коэффициент Пуассона ν , равный 0,2;
 - плотность «DENS», равная 2500 кг/м³.

Рельсовый путь и мостовое полотно моделировали двумя способами:

1) как массу, приложенную на уровне верха плиты балластного корыта: у КЭ, моделирующих верхний слой плиты, увеличивался параметр плотность «DENS» на величину, определенную массой балласта, находящейся над ними (рис. 2, а);

2) 8-узловыми объемными КЭ типа «SOLID» по опалубочным размерам балластной призмы, представленной в типовых проектах (рис. 2, б).

Для балласта задавались следующие свойства материалов:

- модуль упругости $E_x = 9e + 4$ кПа;
- коэффициент Пуассона ν , равный 0,2;
- плотность «DENS», равная 1700 кг/м³.

Материал шпал — дерево:

- модуль упругости $E_x = 1,08e + 7$ кПа;
- коэффициент Пуассона ν , равный 0,3;
- плотность «DENS», равная 900 кг/м³.

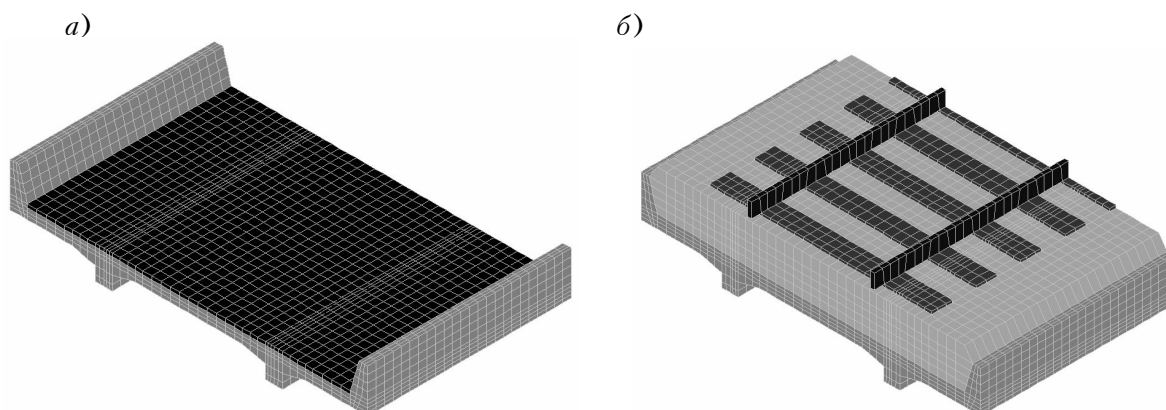


Рис. 2. Фрагмент модели плиты балластного корыта, мостового полотна и рельсового пути пролетного строения $L_p = 23,0$ м:

a — без мостового полотна и рельсового пути; *б* — с мостовым полотном и рельсовым путем

Закрепление модели пролетного строения было выполнено путем постановки связей, запрещающих вертикальные, горизонтальные и продольные перемещения в зависимости от типа опорной части. Связи располагались по узлам нижнего пояса главных балок в местах расположения осей опорных частей.

Для контроля правильности составления конечно-элементных моделей были выполнены расчеты прогибов главных балок под действием собственного веса и их сравнение с данными типовых проектов. Далее был проведен ряд расчетов на соответствие напряжений в верхнем и нижнем поясах главных балок пролетных строений, зафиксированных при испытаниях и полученных в результате расчетов конечно-элементных моделей, от испытательной нагрузки.

Результаты по трем типам пролетных строений приведены в таблице.

Измеренные и расчетные напряжения в поясах балок от статической испытательной нагрузки

L_p , м	№ п/п	Нагрузка, тип / величина, тс/м	Фактич. прочность бетона R , кгс/см ²	Напряжения в балках, кгс/см ²				Конструктивный коэф.			
				изме- ренные	расчетные			Инже- нерный	МКЭ		
					Инже- нерный	МКЭ			Инже- нерный	МКЭ	
						без МП	с МП			без МП	с МП
				ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	
23,0	1	3ТЭ10М 7,32	240	-60 410	-153 516	-112 446	-63 416	0,39 0,79	0,54 0,92	0,95 0,99	
	2		260	-61 401				0,40 0,78	0,54 0,90	0,97 0,96	
	3	ТЭМ2 6,59	250	-58 357	-138 464	-101 402	-60 381	0,42 0,77	0,57 0,89	0,97 0,94	
	4	3ТЭ10М 7,30	*	-785 590	-1225 694	-1220 715	-576 513	0,64 0,85	0,64 0,83	1,36 1,15	
	5	3ТЭ10М 7,30	*	-745 658	-1225 694	-1220 715	-501 446	0,61 0,95	0,61 0,92	1,49 1,48	

Окончание табл.

L_p , м	№ п/п	Нагрузка, тип / величина, тс/м	Фактич. прочность бетона R , кгс/см ²	Напряжения в балках, кгс/см ²				Конструктивный коэф.		
				изме- ренные	расчетные			Инже- нерный	МКЭ	
					без МП	с МП	Инже- нерный		без МП	с МП
				ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП	ВП НП
27,0	6	ТЭМ2 6,17	192	-71 296	-159 432	-116 338	-95 360	0,45 0,69	0,61 0,88	0,75 0,82
	7	2ТЭ10М 8,21	166	-86 379	-211 575	-155 503	-108 446	0,41 0,66	0,55 0,75	0,80 0,85
	8	ТЭМ2 6,17	*	-554 355	-1091 597	-939 565	-493 468	0,51 0,59	0,59 0,63	1,12 0,76
	9	2ТЭ10М 8,00	*	-1021 643	-1255 732	-1218 686	-567 539	0,81 0,88	0,84 0,94	1,80 1,19
	10	2ТЭ10М 8,00	*	-909 515	-1255 732	-1218 686	-567 539	0,72 0,70	0,75 0,75	1,60 0,96
33,6	11	ТЭМ2 5,36	381	-74 334	-191 390	-134 349	-78 335	0,39 0,86	0,55 0,96	0,95 0,997
	12	ТЭМ2 5,36	147	-67 254	-191 390	-126 345	-70 330	0,35 0,65	0,53 0,74	0,96 0,77
	13	3ТЭ10М 7,32	293	-198 564	-261 532	-225 493	-162 460	0,76 1,06	0,88 1,14	1,22 1,23
	14	3ТЭ10М 7,32	320	-181 523	-261 532	-220 487	-157 454	0,69 0,98	0,82 1,07	1,15 1,15
	15	3ТЭ10М 7,32	230	-223 571	-261 532	-236 501	-168 467	0,85 1,07	0,94 1,14	1,33 1,22

Примечание. МП — мостовое полотно и рельсовый путь; ВП — верхний пояс главной балки; НП — нижний пояс главной балки. Знак «*» в таблице означает, что измерить прочность бетона не удалось из-за низкого качества поверхности или разрушения бетона шва. Жирным шрифтом выделены напряжения, превышающие расчетные значения.

Анализируя данные, приведенные в таблице, можно видеть, что учет в расчетах балласта и рельсового пути для исправных конструкций дает результаты, практически точно совпадающие с измеренными величинами (конструктивный коэффициент 0,95–0,96). Причем расчетные значения напряжений, полученные с учетом мостового полотна, меньше, чем, эти же величины, полученные при традиционной схеме поперечного сечения.

Основной неисправностью рассматриваемого типа конструкций является выключение железобетонной плиты из совместной работы с металлическими балками из-за разрушения бетона поперечных швов омоноличивания блоков плиты. Это ведет к снижению жесткости конструкции и, следовательно, к увеличению напряжений в поясах стальных балок. Соответственно завышенные величины расчетных напряжений, полученных без учета балласта и рельсового пути, могут дать неверную информацию о степени включения плиты в работу, вплоть до признания конструкции исправной (например, пролеты № 13–15 в таблице).

Здесь, однако, может возникнуть вопрос о жесткостных параметрах балласта и рельсового пути, и в частности о влиянии на измеряемые величины сезонного изменения жесткости балласта из-за его смерзания.

Рассмотрим отдельно вклад мостового полотна и рельсов в восприятие внутренних усилий в таком составном сечении (рис. 2).

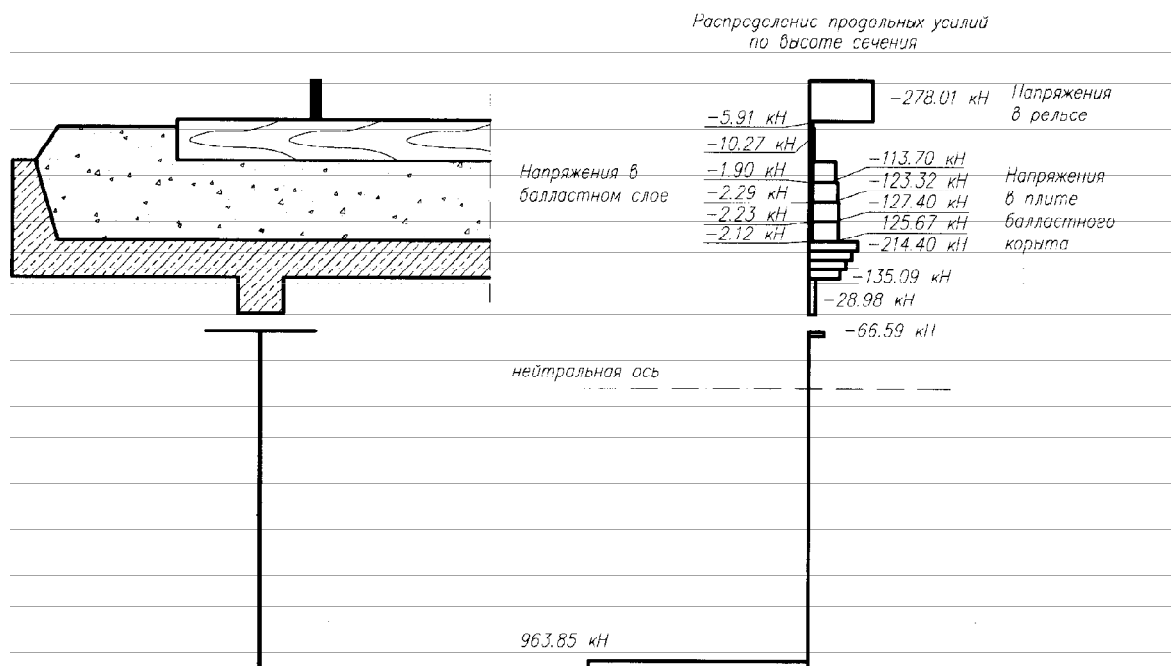


Рис. 2. Распределение усилий между элементами составного поперечного сечения

Как следует из представленной схемы, основные усилия в поперечном сечении воспринимаются стальными балками, железобетонной плитой и рельсами. Усилия в балластном слое ничтожны по сравнению с остальными величинами. Таким образом, можно констатировать, что жесткость балластного слоя не оказывает влияния на результаты измерений, а следовательно, предложенный способ диагностики технического состояния сталежелезобетонных пролетных строений может использоваться в любое время года.

Библиографический список

1. СНиП 3.06.07-86. Мосты и трубы: Правила обследования и испытаний. М.: Госстрой СССР, 1987. 41 с.