

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОДОРОЖНОГО МОСТА С ОПЫТНЫМИ ПРОЛЕТНЫМИ СТРОЕНИЯМИ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ П-ОБРАЗНЫХ БАЛОК ДЛИНОЙ 18 М

Наведено результати випробувань збірної прогонової будови завдовжки 18 м, виготовленої за проектом ВСК 31-81.

Приведены результаты испытаний сборного пролетного строения длиной 18 м, изготовленного по проекту ВСК 31-81.

The article considers the results of testing an 18m-long sectional span structure, manufactured under project ВСК 31-81.

Испытывалось одно из трех одинаковых пролетных строений нового автомобильного моста, рассчитанного под нагрузки А-11 и НК-80 и имеющего габарит 1,0+Г-11,5+1,5 м.

Пролетное строение собрано из 14 предварительно напряженных железобетонных П-образных балок длиной 18 м, шириной 1,0 м и высотой 0,85 м. Балки объединены между собой бетонированием шпоночных пазух и

выпусков арматуры, а также накладной монолитной плитой толщиной 80 мм, поверх которой уложена гидроизоляция и два слоя асфальтобетонного покрытия суммарной толщиной 80 мм. Поперечное сечение пролетного строения приведено на рис. 1, а опалубочные размеры его главных балок – на рис. 2. Балки армированы стержневой арматурой класса А-IIIв, А-IV.

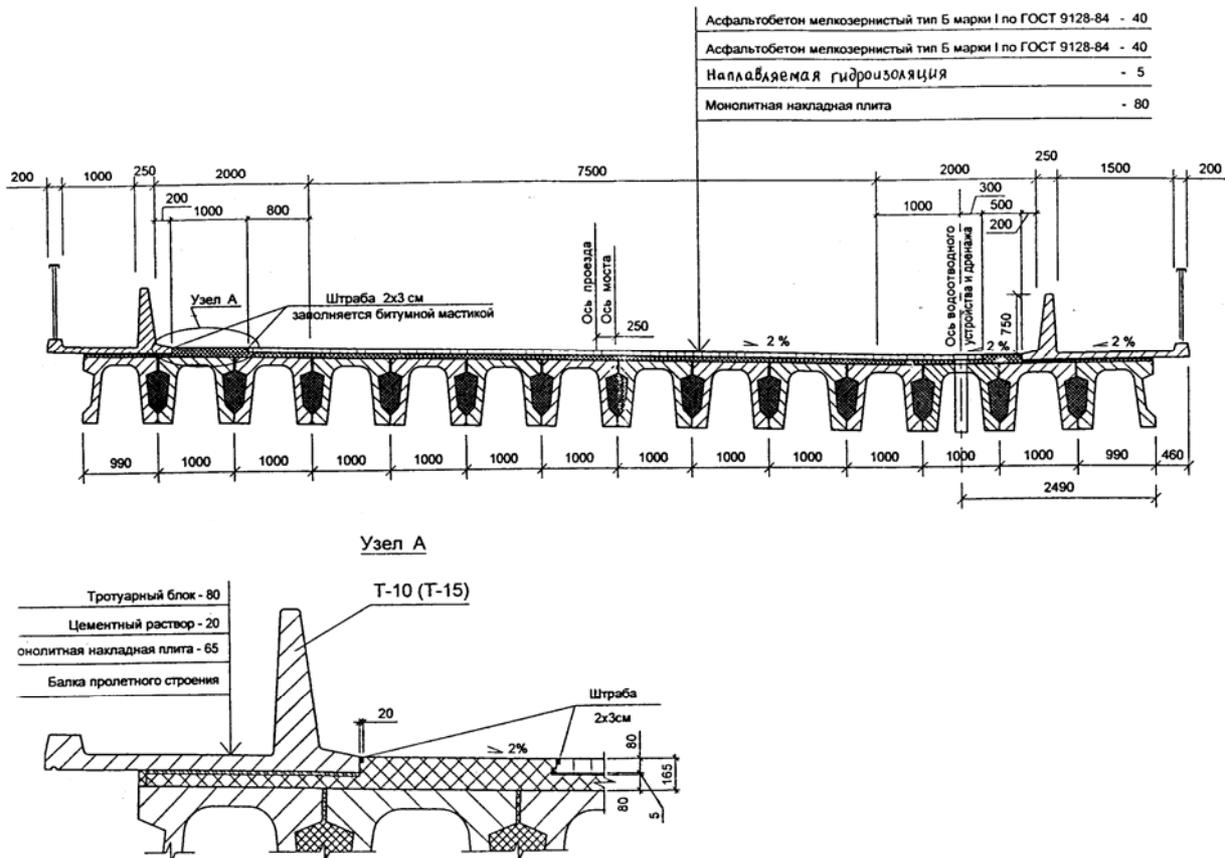


Рис. 1. Поперечное сечение автомобильного пролетного строения (проект ВСК 31-87)

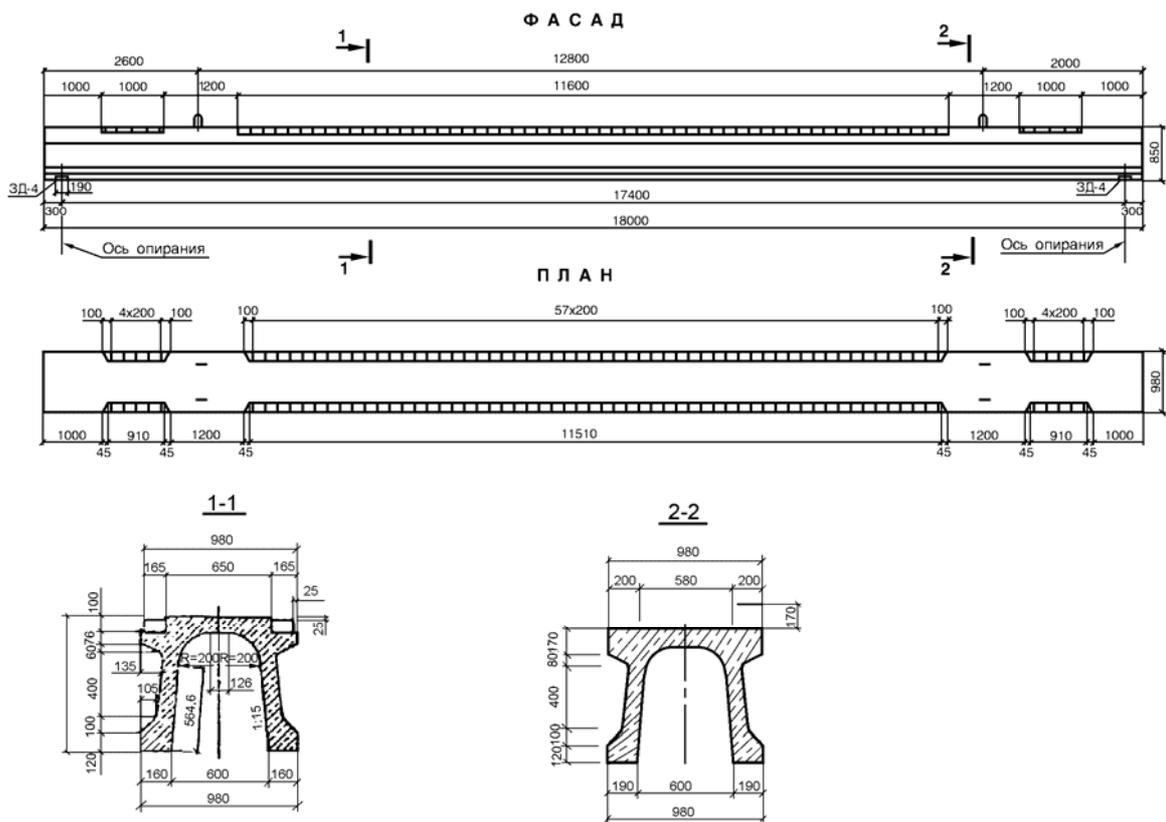


Рис. 2. Опалубочные размеры П-образной балки

Конструкция пролетного строения с П-образными балками разработана для экспериментального строительства институтом УкрГИПРОДОР (проект ВСК 31-87) в качестве альтернативы унифицированным сборным пролетным строениям из пустотелых плит. Отметим, что по весу, расходу предварительно напряженной стержневой арматуры П-образная балка при одинаковом пролете и ширине с пустотелой плитой имеет несколько лучшие показатели. Так, вес и расход преднапряженной арматуры у нее соответственно на 10 и 11% меньше, а расчетная несущая способность по моменту в середине пролета у балки и плиты практически одинаковы.

Приемо-сдаточные испытания моста проводились по заранее разработанной и утвержденной программе, предусматривающей две основные схемы нагружения пролетного строения испытательной нагрузкой, в качестве которой использовались четыре нагруженные автомашины КраЗ массой по 23 т.

Схема № 1. Предусматривала создание максимального изгибающего момента в среднем сечении испытываемого пролетного строения при строго симметричном относительно продольной оси моста размещении нагрузки на проезжей части. Для нагружения по этой схеме требовалось 3 автомашины, которые устанавливались кабинами в одну сторону таким образом, что средняя ось каждого автомобиля нахо-

дится в середине длины пролета, то есть в 9 м от торца пролетного строения. В направлении поперек моста машины устанавливались:

а) первая машина – своей продольной осью по оси моста (5,5 м от правого парапетного ограждения);

б) вторая машина – своей продольной осью на расстоянии 1,83 м от правого парапетного ограждения (3,67 м справа от оси моста);

в) третья машина – своей продольной осью на расстоянии 2,33 м от левого парапетного ограждения (3,67 м слева от оси моста).

Загружение производилось последовательно. Сначала устанавливалась первая машина и снимаются показания приборов, затем вторая и т. д. Разгрузка производилась в обратной последовательности: с пролетного строения съезжала третья машина, затем вторая и, наконец, первая.

При первой основной схеме нагружения в среднем сечении пролетного строения испытательной нагрузкой создавался изгибающий момент, равный 253,12 т·м, что составляет 80,74 % от предельного момента (313,5 т·м), по которому согласно [1] должна подбираться испытательная нагрузка. Напомним, что согласно п. 4.4 и п. 4.5 [1] усилия, возникающие в элементах конструкций моста от испытательной нагрузки, не должны превышать усилий от подвижной временной вертикальной нагрузки, принятой в проекте (при коэффициенте надеж-

ности по нагрузке равном 0,95 и полном динамическом коэффициенте) и не должно быть ниже 65% от этой величины.

Схема № 2. Предусматривала имитацию установки 2-х полос нагрузки А-11 по ремонтному варианту (вплотную к парапетному ограждению), что создавало максимально эксцентричное (относительно продольной оси моста) загрузку пролетного строения.

Для загрузки по этой схеме требовалось 4 автомашины, которые устанавливались на проезжей части двумя колоннами по две машины в каждой. Первая колонна размещалась по ширине автопроезда таким образом, что ее продольная ось отстояла от левого парапетного ограждения на 1,5 м, а ось второй колонны – на расстоянии 4,5 м от него же. Машины, в каждой из колонн, были развернуты кабинами в разные стороны и касались задними торцами кузовов. При этом торцы кузовов находятся над средним поперечным сечением пролетного строения. Как и при загрузке по первой схеме, загрузка производилась поэтапно: сначала устанавливалась первая колонна из двух машин и снимались показания приборов, затем – вторая. Разгрузка производится в обратном порядке. При загрузке по схеме № 2 испытательная нагрузка создавала практически такой же изгибающий момент в среднем сечении для пролетного строения в целом, что и схема № 1. Однако, для отдельно взятых балок он был больше, чем в

схеме № 1. Кроме того, поперечная сила в опорном сечении пролетного строения достигла величины 46 т.с., что так же больше, чем при загрузке по схеме № 1.

Накануне автомашины, участвующие в испытаниях, были загружены и взвешены по осям с точностью до 0,01 тонны.

В процессе испытаний фиксировались вертикальные прогибы всех балок в среднем поперечном сечении испытываемого пролета с точностью до 0,1 мм. Для этого снизу по всей ширине пролетного строения с шагом 1 м были установлены 15 механических прогибомеров с проволоочной связью, что дало возможность регистрировать вертикальные перемещения по краям каждого из 14-ти П-образных блоков (балок), образующих сечение. Для повышения достоверности результатов испытаний каждая из основных схем загрузки пролетного строения испытательной нагрузкой повторялась дважды. Учитывая то, что загрузка и разгрузка пролетного строения проводились поэтапно оказалось, что в процессе испытаний были получены данные по 14-ти установкам автомашин (включая и их отсутствие на пролетном строении).

В табл. 1 приведены вертикальные перемещения балок по всей ширине среднего поперечного сечения пролетного строения, зафиксированные с помощью прогибомеров в процессе проведения статических испытаний.

Таблица 1

Вертикальные перемещения среднего поперечного сечения пролетного строения при статических испытаниях

Схема	№ установки	К-во машин	Прогибы, см (по прогибомерам)						
			П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7
1	1	1	0,006	0,02	0,037	0,07	0,108	0,15	0,232
	2	2	0,088	0,16	0,234	0,30	0,327	0,36	0,353
	3	3	0,088	0,15	0,244	0,34	0,348	0,39	0,415
	4	2	0,086	0,17	0,246	0,34	0,345	0,36	0,373
	5	1	-0,002	0,02	0,057	0,11	0,126	0,19	0,247
	6	0	0,003	0	0,011	0,02	0,003	0,03	0,016
1а	7	3	0,095	0,16	0,221	0,31	0,332	0,36	0,406
	8	0	0,001	0	0	0,01	0	0,01	-0,001
2	9	2	0,310	0,39	0,411	0,41	0,332	0,22	0,173
	10	4	0,385	0,48	0,576	0,64	0,659	0,64	0,557
	11	2	0,384	0,43	0,457	0,45	0,385	0,27	0,197
	12	0	0,042	0,03	0,033	0,04	0,023	0,02	0,004
2а	13	4	0,373	0,5	0,577	0,63	0,643	0,59	0,538
	14	0	-0,002	0	0,003	-0,01	0,014	0	0,003

Схе- ма	№ уста- новки	К-во машин	Прогибы, см (по прогибомерам)							
			П8	П9	П10	П11	П12	П13	П14	П15
1	1	1	0,25	0,23	0,19	0,121	0,08	0,04	0,02	0,004
	2	2	0,34	0,278	0,21	0,137	0,08	0,038	0,01	-0,008
	3	3	0,42	0,411	0,4	0,364	0,32	0,261	0,22	0,165
	4	2	0,35	0,298	0,22	0,154	0,09	0,051	0,01	0,002
	5	1	0,28	0,249	0,19	0,135	0,08	0,049	0,02	0
	6	0	0,02	0,014	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,005
1a	7	3	0,41	0,406	0,4	0,366	0,33	0,254	0,21	0,159
	8	0	0	0	0,01	0,005	0,01	0,005	0	0,005
2	9	2	0,09	0,053	0,02	0,004	0	-0,011	-0,01	-0,005
	10	4	0,44	0,307	0,2	0,108	0,05	0,003	-0,02	-0,03
	11	2	0,11	0,066	0,02	0,004	-0,01	-0,015	-0,02	-0,019
	12	0	0	-0,007	-0,02	-0,009	0	-0,009	0	-0,003
2a	13	4	0,41	0,292	0,2	0,105	0,04	0,01	-0,02	-0,023
	14	0	0	0,002	0	0	-0,01	-0,002	0	-0,001

Наблюдавшиеся при испытаниях прогибы и деформации поперечного сечения в середине длины пролета приведены в виде эпюр на рис. 3 и рис. 4.

Максимальные прогибы балок пролетного строения были зафиксированы:

а) при первой основной схеме нагружения (установка № 3) - 0,42 см (см. табл. 1, показания прогибомера П8) в средних балках Б7 и Б8;

б) при второй основной схеме нагружения (установка № 10) - 0,66 см для смежных ребер балок Б4 и Б5.

Величина остаточного прогиба вышеперечисленных балок оказалась:

а) после нагружения и разгрузки по первой основной схеме - 0,02 см;

б) после нагружения и разгрузки по второй основной схеме - 0,023 см.

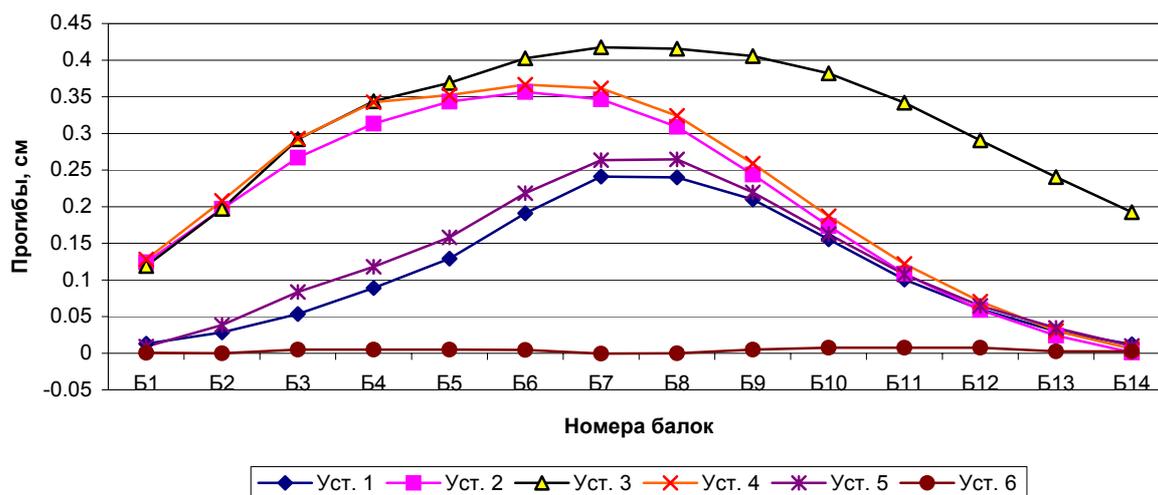


Рис. 3. Эпюра вертикальных прогибов балок в среднем поперечном сечении пролетного строения при различных установках испытательной нагрузки по первой основной схеме нагружения

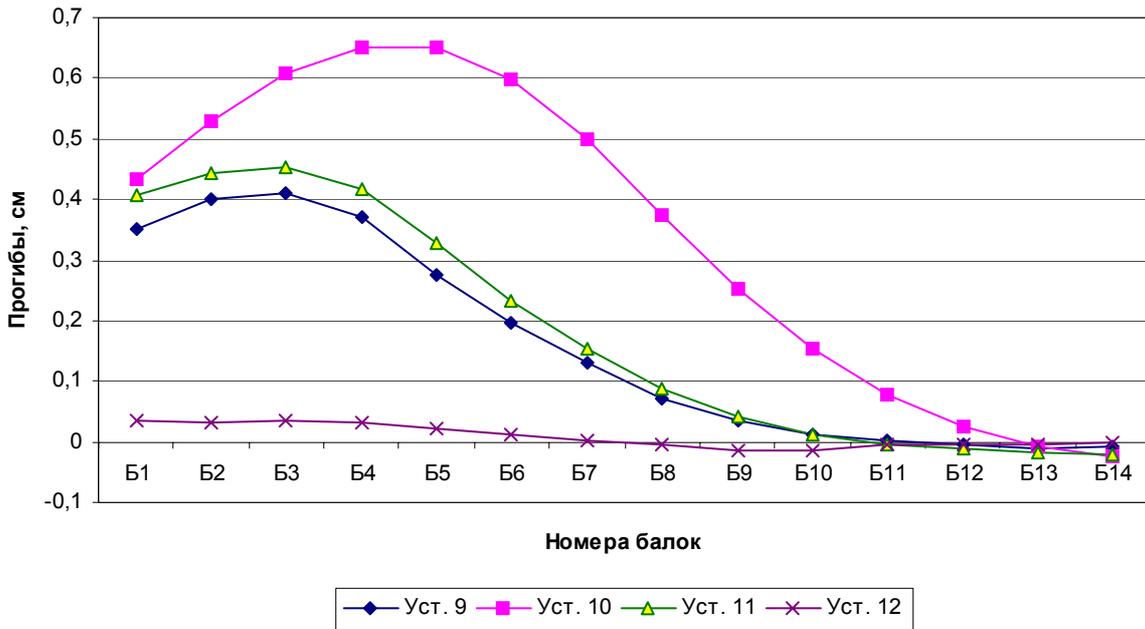


Рис. 4. Эпюра вертикальных прогибов балок в среднем поперечном сечении пролетного строения при различных установках испытательной нагрузки по второй основной схеме загрузки

Таким образом, величина максимального упругого прогиба в среднем сечении пролетного строения от испытательной нагрузки не превышала $(0,66 - 0,02)/17,4 \times 10^2 = 1/2719$ длины пролета, что значительно меньше нормируемой [2] величины $(1/400 L$, где L – расчетный пролет). Это означает, что фактическая жесткость пролетного строения отвечает требованиям современных норм.

Среднеарифметическое значение полных и остаточных прогибов по всем 14 балкам испытываемого пролетного строения оказались соответственно равными: 0,315 см и 0,011 см (схема № 1); 0,344 см и 0,0089 см (схема № 2). При этом значения конструктивного коэффициента K составили: $K_1 = 0,571$ (схема № 1) и $K_2 = 0,585$ (схема № 2).

По данным многочисленных статических испытаний коэффициент K для пролетных строений, в которых расчетами не учитывается совместная работа главных балок с элементами проезжей части и дорожной одежды, – как правило находится в интервале 0,5...0,7. Таким образом, полученные при настоящих испытаниях значения коэффициента K как раз и попадают в указанный диапазон, то есть по этому показателю работа пролетного строения под нагрузкой отвечает норме.

В качестве еще одного из основных критериев оценки моста по результатам статических испытаний служит соотношение измеренных упругих и остаточных прогибов, выражаемое показа-

телем работы конструкции α . В нашем случае $\alpha_1 = 0,036$ (схема № 1), $\alpha_2 = 0,027$ (схема № 2).

Известно, что показатели работы конструкции α для металлических и железобетонных мостов, законченных строительством, могут достигать значений $-0,15$, а для тех же мостов, находящихся в эксплуатации, значений $-0,05$. В нашем случае показатели работы конструкции больше отвечают работе мостов, длительное время находящихся в эксплуатации, хотя они были получены во время приемо-сдаточных испытаний. Таким образом, остаточные прогибы оказались весьма незначительными.

Фактические коэффициенты поперечной установки для балок испытываемого пролетного строения от одной полосы нагрузки (машины или колонны из двух машин), установленной в том или ином конкретном месте в пределах ширины ездового полотна, определялись по формуле

$$\eta_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i},$$

где η_i – фактический коэффициент поперечной установки для i -й балки; f_i – величина упругого прогиба i -той балки; $n = 14$ – число балок.

При проведении статических испытаний нагрузка устанавливалась по ширине ездового полотна в пяти различных местах, а именно:

1) – по оси пролетного строения (уст. № 1, уст. № 5);

2) – в 3,67 м слева от оси пролетного строения (уст. № 2, уст. № 4);

3) – в 3,67 м справа от оси пролетного строения (уст. № 3, уст. № 7);

4) – в 4,5 м слева от оси пролетного строения (уст. № 9, уст. № 11);

5) – в 1,5 м слева от оси пролетного строения (уст. № 10, уст. № 13).

Из всего массива данных, полученных при испытаниях, можно определить фактические

коэффициенты поперечной установки для каждой из 14-ти балок входящих в состав поперечного сечения пролетного строения от одной полосы нагрузки, находящейся в любом из пяти вышеперечисленных мест.

В табл. 2 помещены значения фактических коэффициентов поперечной установки для балок испытываемого пролетного строения, а на рис. 5 для наглядности те же значения представлены в виде графиков.

Таблица 2

Коэффициенты поперечной установки для балок пролетного строения при различных по ширине проезжей части положениях нагрузки

Расстояние от оси пролетного строения до оси нагрузки	Коэффициенты поперечной установки для балок						
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7
0,0 м	0,0067	0,0212	0,0403	0,0619	0,0865	0,1244	0,1552
3,67 м (слева)	0,0880	0,1294	0,1619	0,1718	0,1565	0,1199	0,0779
3,67 м (справа)	-0,0049	-0,0040	0,0077	0,0104	0,0143	0,0282	0,0436
4,5 м (слева)	0,1555	0,1754	0,1787	0,1634	0,1255	0,0901	0,0610
1,5 м (слева)	0,0215	0,0431	0,0719	0,1045	0,1426	0,1575	0,1463

Окончание табл. 2

Расстояние от оси пролетного строения до оси нагрузки	Коэффициенты поперечной установки для балок						
	Б8	Б9	Б10	Б11	Б12	Б13	Б14
0,0 м	0,1551	0,1307	0,0957	0,0618	0,0361	0,0191	0,0061
3,67 м (слева)	0,0492	0,0281	0,0163	0,0086	0,0019	-0,0038	-0,0057
3,67 м (справа)	0,0682	0,1063	0,1394	0,1567	0,1560	0,1475	0,1307
4,5 м (слева)	0,0350	0,0199	0,0082	0,0008	-0,0029	-0,0051	-0,0054
1,5 м (слева)	0,1208	0,0879	0,0585	0,0328	0,0147	0,0024	-0,0046

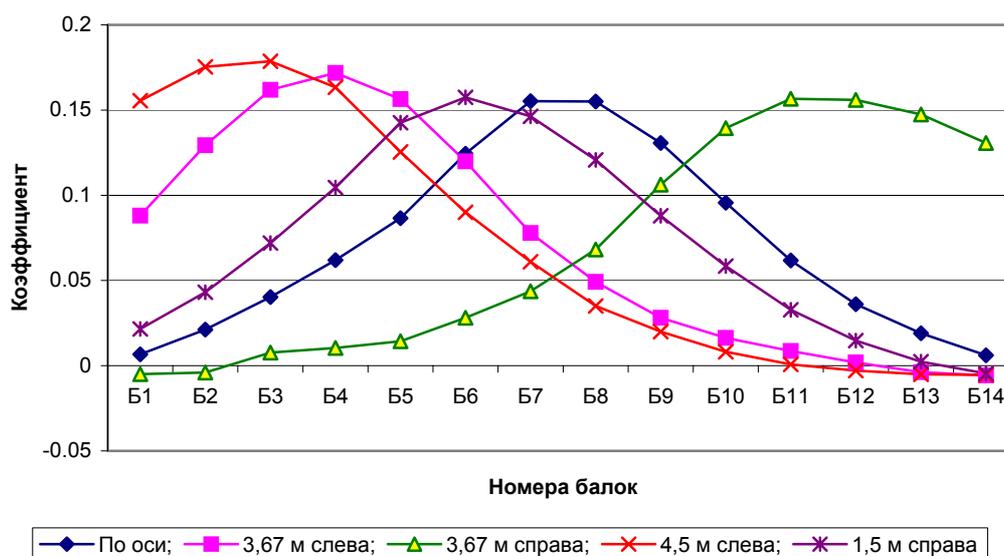


Рис. 5. Коэффициенты поперечной установки для балок пролетного строения при различных положениях нагрузки

Зная фактические коэффициенты поперечной установки, можно определить усилия (изгибающие моменты), возникающие в балках от загрузки пролетного строения расчетными нагрузками А-11 и НК-80. Соответствующие вычисления были проделаны и оказалось, что максимальный изгибающий момент от воздействия временной нагрузки величиной 55,37 т·м, возникает в балке Б6 и вызывается одиночной колесной нагрузкой НК-80. Несколько меньший момент (50,83 т·м) вызывают в балке Б4 две полосы нагрузки А-11, установленной у края ездового полотна (ремонтный вариант).

Из расчетных листов проекта ВСК 31-87 следует, что П-образная балка длиной 18 м армированная стержневой напряженной арматурой класса А-IIIв, А-IV рассчитана на восприятие предельного изгибающего момента в середине пролета величиной $M_{\text{пред}} = 128,64$ т·м. Момент создаваемый расчетной постоянной нагрузкой составил $M_{\text{пост}} = 57,49$ т·м.

Разница между этими двумя моментами и является той величиной, которая допускается от воздействия расчетных временных подвижных нагрузок

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{пред}} - M_{\text{пост}} = 71,15 \text{ т·м} > 55,37 \text{ т·м}$$

Таким образом, испытанное пролетное строение имеет фактическую грузоподъемность (по изгибающему моменту в середине пролета) больше проектной.

Фактическая грузоподъемность пролетного строения (по моменту) соответствует нагрузкам А-15 и НК-100.

Подводя итог, особо отметим тот факт, что пролетное строение, подвергнутое статическим испытаниям, работало в упругой стадии. Как-либо изменений (трещин, сколов) в состоянии конструкций моста до и после окончания испытаний не обнаружено.

Проведенные расчеты, опирающиеся на результаты испытаний, указывают на наличие резерва грузоподъемности у пролетных строений моста по сравнению с проектом.

Все это дает основание рекомендовать пролетные строения из П-образных балок длиной 18 м (проект ВСК 31-87) к широкому применению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В. 2.3-6-2002. Мосты и трубы. Обследование и испытание / Госстрой Украины. – К. 2002. – 26 с.
2. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП. 2001. – 214 с.

Поступила в редколлегию 31.05.06.