

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ МЕЖДУ БАЛКАМИ В ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Запропонований метод побудови поперечних ліній впливу коефіцієнтів розподілу для прогонових будов автодорожніх мостів за результатами всього однієї установки випробувального навантаження.

Предложен метод построения поперечных линий влияния коэффициентов распределения для пролетных строений автодорожных мостов по результатам всего одной установки испытательной нагрузки.

The article proposes a method of constructing the transversal lines of distribution ratios influence for the span structures of road bridges, based on the results of just one application of tester loading.

Предлагаемый метод применим для плитных и ребристых мостовых балочных пролетных строений с однотипными несущими элементами в поперечном сечении. Именно такие пролетные строения являются самыми массовыми и составляют до 95 % от общего числа эксплуатируемых в Украине пролетных строений автодорожных мостов [1].

Метод, назовем его «условной поперечной балки», отличается от известного способа построения натуральных поперечных линий влияния значительно меньшим числом требуемых установок испытательной нагрузки поперек пролетного строения, а точнее – всего одной. Напомним, что согласно [2] для построения натуральных поперечных линий влияния число установок нагрузки на поперечном сечении проезжей части пролетного строения должно быть не менее 5. При этом установки должны назначаться симметрично относительно оси пролетного строения, а крайние установки – как можно ближе к бордюрам.

Большое число установок, с учетом необходимости их повторов, требует больших затрат времени на проведение испытаний. Закрытие эксплуатируемых сооружений с интенсивным автомобильным движением на длительное время крайне нежелательно, а порой и невозможно. Поэтому следует стремиться к такой организации проведения натурных испытаний, которая бы позволяла при минимальном числе загружений (установок) получать достаточно данных для всесторонней оценки работы сооружения под нагрузкой и, в частности, строить поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий между балками (плитами) испытываемого пролета.

Этой цели вполне соответствует предлагаемый метод, позволяющий по результатам измерения вертикальных упругих прогибов поперечного сечения в середине длины испытываемого пролетного строения строить такие линии влияния всего при одном (строго симметричном относительно продольной оси) нагружении пролетного строения испытательной нагрузкой.

Для нахождения коэффициентов распределения усилий между балками (плитами) от внешних нагрузок у пролетных строений с однотипными несущими элементами в поперечном сечении, например, такими, как показано на рис. 1, правомерна расчетная схема пролетного строения, представленная на рис. 2.

В ней в качестве элемента, связующего главные балки (плиты) и распределяющего между ними внешнюю нагрузку, вводится условная поперечная балка постоянной жесткости. Эта условная поперечная балка под воздействием внешней нагрузки работает как балка на упругом (винклеровом) основании. Роль последнего выполняют главные балки (плиты) пролетного строения.

Жесткость  $EI$  условной поперечной балки и коэффициент упругого основания  $k$  можно определить, измерив в натуре вертикальные упругие прогибы по всей ширине поперечного сечения под действием испытательной нагрузки, заранее взвешенной по осям и установленной определенным образом на пролетном строении.

На рис. 1 приведен пример размещения прогибомеров по всей ширине поперечного сечения в середине испытываемого пролетного строения, а на рис. 3 представлена расчетная схема условной поперечной балки на упругом основании и активной (испытательной) и реактивной нагрузок, которые на нее действуют.

Измерив в натуре прогибы поперечного сечения и приведя вес фактической испытательной нагрузки к середине пролета, легко подсчитать коэффициент упругого основания  $k$  по формуле

$$k = \frac{P}{a \int_0^a v(z) dz},$$

где  $P$  – приведенный вес испытательной нагрузки (вертикальная нагрузка в среднем сечении пролетного строения, вызывающая такой же по величине прогиб этого сечения, как и реальная испытательная нагрузка);  $v(z)$  – вертикальный прогиб поперечного сечения, он же вертикальный прогиб условной поперечной балки на упругом основании;  $a$  – ширина поперечного сечения (длина условной поперечной балки).

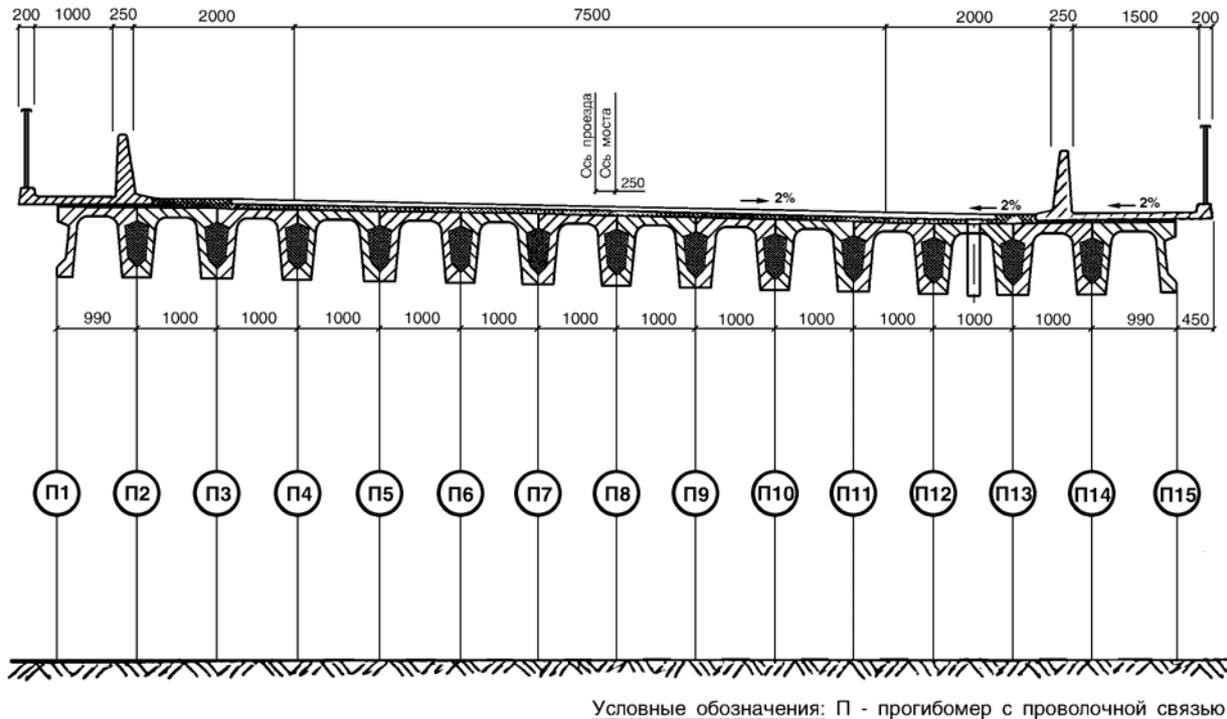


Рис. 1. Поперечное сечение 18-метрового автодорожного пролетного строения (проект ВСК 31-87) и схема установки прогибомеров в середине длины его пролета

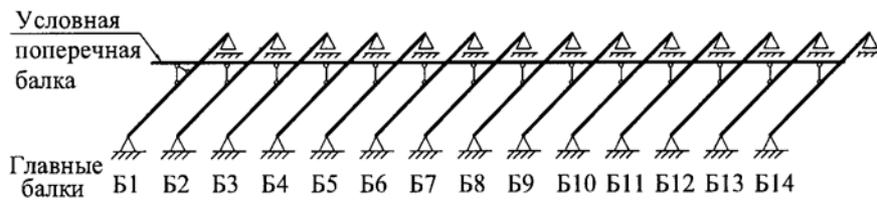


Рис. 2. Расчетная схема пролетного строения

Далее, для нахождения изгибной жесткости  $EI$  условной поперечной балки, удобно используя принцип симметрии, рассчитать прогиб консоли с жесткой заделкой длиной равной половине ширины пролетного строения (или, что тоже самое, половине длины условной поперечной балки), под действием нагрузок, приведенных на рис. 3, в. У консоли известен прогиб  $\Delta$  (берется как разность фактического упругого прогиба середины поперечного сечения пролетного строения и его края), а также значения активной и реактивной нагрузок на консоль. Активная (испы-

тательная) нагрузка равна  $1/2P$  и направлена вниз. Реактивная нагрузка  $r(z)$  направлена вверх – это реакция винклера основания. Интенсивность ее по длине консоли задана величинами прогибов  $v(z)$ , умноженных на ранее найденный коэффициент упругого основания  $k$ .

Поскольку все нагрузки на консоль уже известны, известен и ее прогиб на конце  $\Delta$ , то постоянная по длине изгибная жесткость  $EI$  методами строительной механики определяется однозначно.

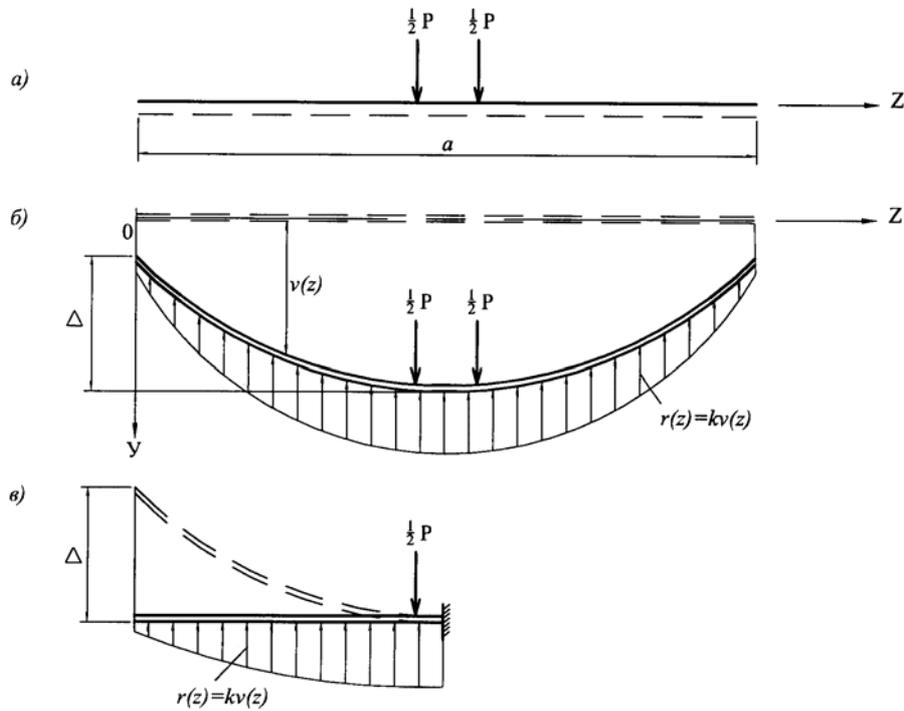


Рис. 3. Расчетная схема условной поперечной балки:

- а – балка конечной длины на упругом основании, симметрично нагруженная приведенной испытательной нагрузкой  $P$ ;
- б – деформированное состояние балки и силы, которые на нее действуют;
- в – расчетная схема для определения изгибной жесткости балки  $EI$

Дальнейшие действия сводятся к построению линий влияния прогибов условной поперечной балки на упругом основании для тех ее сечений, где расположены оси главных балок (плит) пролетного строения. Ординаты этих линий влияния, будучи разделенными на сумму ординат под всеми балками в поперечном сечении пролетного строения, дают нам искомые поперечные линии влияния коэффициентов распределения для каждой конкретной

балки (плиты) пролетного строения. Расчет ординат линий влияния удобно выполнять на ЭВМ, используя формулы деформации балки конечной длины на упругом основании [3].

На рис. 4 приведены построенные описанным методом поперечные линии влияния коэффициентов распределения для подвергнутого статическим испытаниям автодорожного пролетного строения длиной 18 м, поперечное сечение которого показано на рис. 1.

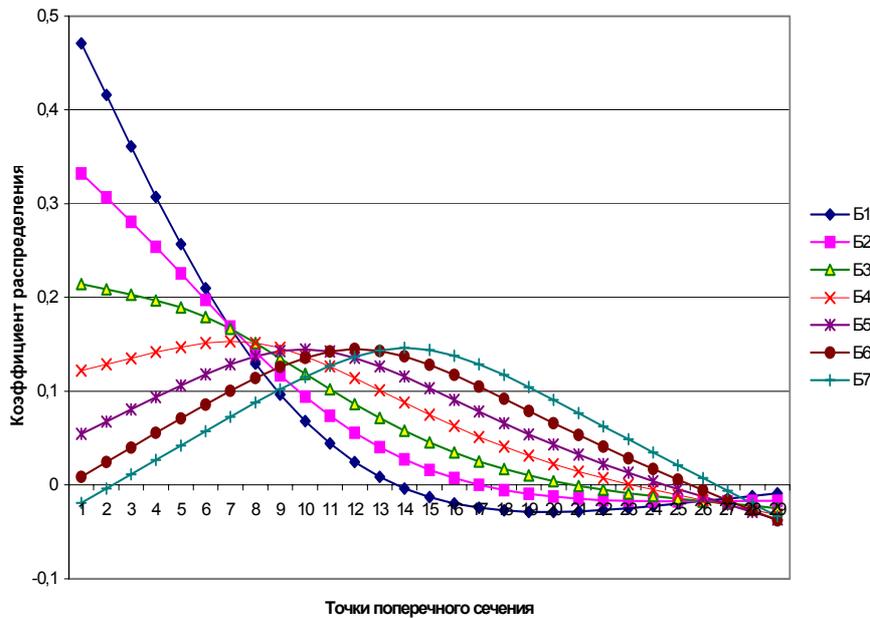


Рис. 4. Поперечные линии влияния коэффициентов распределения для 18-метрового автодорожного пролетного строения (проект ВСК 31-87) с П-образными балками

На рис. 5 и рис. 6 для сравнения приводятся поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий соответственно на балку Б3 и балку Б6 (счет балок в поперечном сечении слева направо), построенные методом

«условной поперечной балки» с натурными поперечными линиями влияния для этих же главных балок.

Как видим, между ними имеет место достаточно хорошее совпадение.

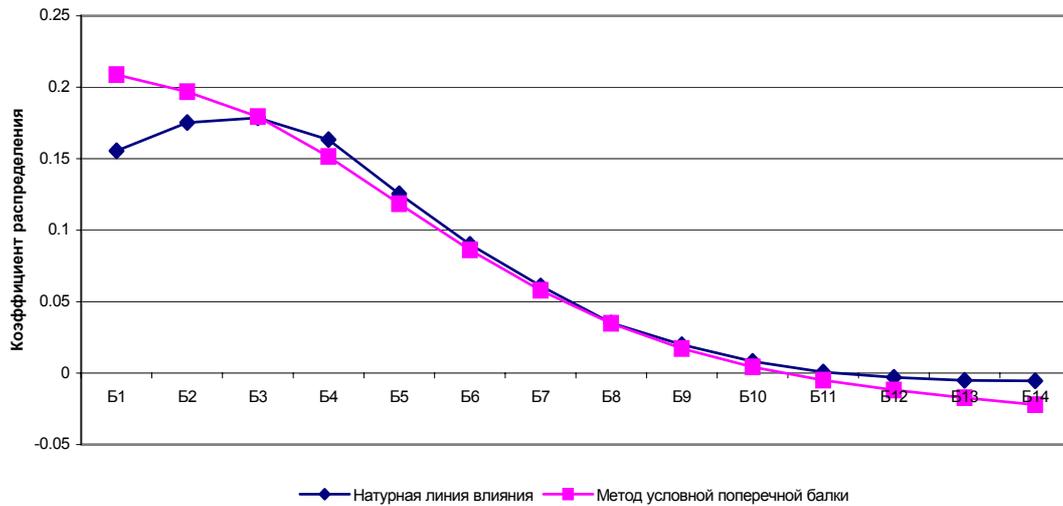


Рис. 5. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б3, построенной методом «условной поперечной балки», с натурной линией влияния

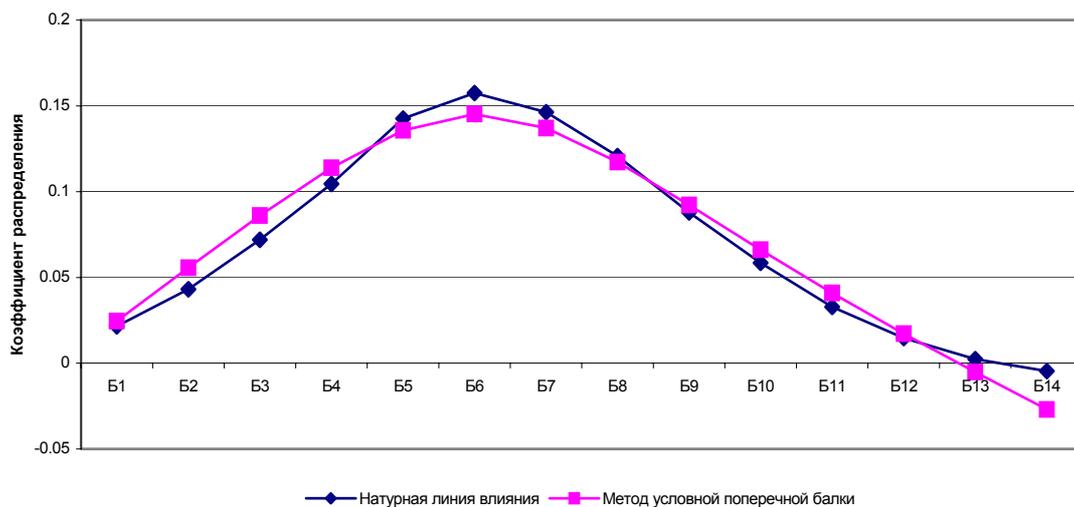


Рис. 6. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б6, построенной методом «условной поперечной балки», с натурной линией влияния

Предложенный метод удобен для представления результатов в виде матрицы коэффициентов распределения и создания банка данных на все испытанные пролетные строения.

В таблице представлена матрица фактических коэффициентов распределения для подвергнувшегося испытанию пролетного строения длиной 18 м (проект ВСК 31-87) в той форме, которая используется в инструкции [2] для железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов, коэффициенты распределения по которым получены теоретически пространственным расчетом.

В завершение подчеркнем еще одну положительную особенность предложенного метода, выгодно отличающего от традиционного способа построения натуральных поперечных линий влияния. При традиционном способе возможно построение натуральных поперечных линий влияния лишь для тех главных балок (плит) в поперечном сечении, над осями которых может быть установлена при загрузке сооружения испытательная нагрузка, то есть для тех балок (плит), которые расположены в пределах ширины проезжей части пролетного строения.

**Матрица ординат поперечных линий влияния для пролетного строения с П-образными балками  
длиной 18,0 м (проект ВСК 31-87)**

№ точек	№ точек 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29													
	№ балок I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII XIII XIV													
	Б-1	Б-2	Б-3	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7							
1	0,471	0,332	0,214	0,122	0,054	0,009	-0,019							
2	0,416	0,307	0,209	0,129	0,068	0,025	-0,003							
3	0,361	0,281	0,203	0,135	0,081	0,040	0,012							
4	0,307	0,254	0,197	0,142	0,094	0,056	0,027							
5	0,257	0,226	0,189	0,147	0,106	0,071	0,042							
6	0,210	0,197	0,179	0,151	0,118	0,086	0,058							
7	0,167	0,169	0,167	0,153	0,129	0,100	0,073							
8	0,129	0,142	0,152	0,152	0,137	0,114	0,088							
9	0,096	0,117	0,135	0,146	0,143	0,126	0,102							
10	0,068	0,094	0,119	0,137	0,145	0,136	0,116							
11	0,044	0,074	0,102	0,126	0,142	0,142	0,127							
12	0,025	0,056	0,086	0,114	0,136	0,145	0,137							
13	0,009	0,040	0,071	0,101	0,127	0,143	0,144							
14	-0,003	0,027	0,058	0,088	0,116	0,137	0,146							
15	-0,013	0,016	0,046	0,075	0,104	0,128	0,144							
16	-0,020	0,007	0,035	0,063	0,091	0,117	0,138							
17	-0,024	0,000	0,025	0,052	0,078	0,105	0,129							
18	-0,027	-0,005	0,017	0,041	0,066	0,092	0,117							
19	-0,028	-0,009	0,010	0,031	0,054	0,079	0,105							
20	-0,029	-0,012	0,004	0,023	0,043	0,066	0,091							
21	-0,028	-0,015	-0,001	0,015	0,033	0,053	0,077							
22	-0,026	-0,016	-0,005	0,008	0,023	0,041	0,063							
23	-0,024	-0,017	-0,009	0,001	0,013	0,029	0,049							
24	-0,022	-0,017	-0,012	-0,005	0,004	0,017	0,035							
25	-0,020	-0,017	-0,015	-0,011	-0,004	0,006	0,021							
26	-0,017	-0,017	-0,017	-0,016	-0,012	-0,005	0,007							
27	-0,014	-0,017	-0,020	-0,021	-0,020	-0,016	-0,006							
28	-0,011	-0,017	-0,022	-0,026	-0,028	-0,027	-0,020							
29	-0,009	-0,017	-0,024	-0,031	-0,036	-0,038	-0,033							

Для тех же главных балок (плит), над которыми находятся боковые пешеходные тротуары и установить испытательную нагрузку невозможно, построить натурные поперечные линии влияния по всей ширине пролетного строения не удастся. Метод «условной поперечной балки» предоставляет такую возможность. И еще, как правило, испытательная нагрузка – это за-

груженные автомашины, ширина колеи которых может отличаться от колеи нормативной СНИП-овской нагрузки А11 и, тем более, от ширины колеи тяжелой колесной нагрузки НК-80 [4]. А раз так, то натурные поперечные линии влияния, строго говоря, напрямую без соответствующей корректировки не могут использоваться при подсчете коэффициентов по-

перечной установки для нормативных нагрузок Н-30, А11 или НК-80, необходимых для уточнения фактической грузоподъемности испытываемого пролетного строения. Объясняется это тем, что натурные поперечные линии влияния – это всегда линии влияния, полученные не от действия одной единичной силы для всех ее положений по ширине пролетного строения, а от двух сил величиной по 0,5 каждая с расстоянием между ними равном ширине колеи испытательной нагрузки.

Предложенный метод «условной поперечной балки» дает возможность строить поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий на главные балки (плиты) пролетного строения именно от действия единичной силы. Это облегчает подсчет коэффициентов поперечной установки для тех или иных нормативных

нагрузок или же для любой другой тяжелой нагрузки, возможность и условия пропуска которой по пролетному строению моста необходимо выяснить.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страхова Н. Є. Експлуатація і реконструкція мостів / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковальов та ін. – К.: Транспортна академія України, 2000. – 384 с.
2. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. ВСН 32-78. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
3. Рудницин М. Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов / М. Н. Рудницин, П. Я. Артемов, М. И. Любошин. – Минск: Высш. шк., 1970. – 630 с.
4. СНиП 2.05.03-84\*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП. 2001. – 214 с.

Поступила в редколлегию 15.05.06.