

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЁТНЫЙ МЕТОД «УСЛОВНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКИ» И ЕГО ТОЧНОСТЬ

Дана оцінка точності експериментально-розрахунковому методу визначення коефіцієнтів поперечної установки до нормативних рухомих автодорожніх навантажень на мости.

Дана оценка точности экспериментально-расчётного метода определения коэффициентов поперечной установки к нормативным подвижным автодорожным нагрузкам на мосты.

The accuracy estimation for new experimental method of calculation for determine transverse placing coefficients for normative road loads on the bridges was made.

Наиболее полно основные положения и методика определения грузоподъёмности железобетонных балочных пролётных строений автодорожных мостов изложена в ведомственных нормах ВСН 32-78 [1]. В них предусмотрено проведение целого комплекса работ по обследованию и натурным испытаниям пролётных строений, фактическую грузоподъёмность которых надлежит выяснить. Причём, различают два вида испытаний: первый – с целью назначения расчётной схемы работы пролётного строения под временными нагрузками и построения натуральных поперечных линий влияния коэффициентов распределения (КПР) усилий между его несущими элементами (балками, плитами); второй (при необходимости) – контрольные испытания нагрузкой, эквивалентной по воздействию установленной грузоподъёмности. В нормах оговорены так же случаи, когда грузоподъёмность пролётных строений допускается определять чисто расчётным путём без проведения натуральных испытаний. Это, бесспорно, менее трудоёмкий, однако и менее точный путь определения фактической грузоподъёмности эксплуатируемых пролётных строений. Ведь применяя, пусть даже достаточно точные пространственные (а на практике чаще приближённые) методы расчёта или матрицы КПР нагрузки на балки для различных типовых пролётных строений, содержащиеся в [1], нельзя в полной мере учесть все особенности и скрытые дефекты каждого конкретного пролётного строения, которые в меру своей значимости проявляются в натуральных линиях влияния. И всё же, большие затраты времени на проведение испытаний, дающих возможность строить полноценные натурные линии влияния, и связанные с этим организационные неудобства и потери от простоя автотранспорта или его перепробега при объезде, заставляют искать пути сокращения продолжительности испытаний.

Желание сократить продолжительность испытаний и получить при этом необходимую информацию об особенностях работы конкрет-

ного пролётного строения под нагрузкой привело к идее опытно-расчётного метода построения поперечных линий влияния КПР [2], [3]. Реализация метода позволяет минимум в 5 раз сократить число требуемых установок испытательной нагрузки на пролётном строении.

Рассуждения, положенные в основу метода, состоят в следующем. Поперечные сечения пролётных строений автодорожных мостов и путепроводов в подавляющем числе случаев (до 95 % от общей численности эксплуатируемых в настоящее время на Украине) представляют набор объединённых между собой одностипных несущих элементов, как то: тавровых, двутавровых или П-образных балок; сплошных или пустотелых блоков плит; монолитных плит с постоянной по ширине высотой плиты и её армированием. Во всех этих случаях поперечное сечение пролётного строения имеет вид некой балки с регулярно меняющимся по длине сечением. Изгибная жёсткость этой балки так же по длине регулярно меняется, а следовательно существует средняя, «размазанная» по длине величина изгибной жёсткости. Она зависит как от крутильной жёсткости основных несущих элементов пролётного строения (балок, плит), так и от состояния объединения основных несущих элементов между собой, то есть от конструкции и состояния монтажных стыков, наличия или отсутствия поперечных диафрагм, наличия верхней накладной монолитной плиты, включая слои дорожной одежды. Именно такая «условная поперечная балка» осуществляет распределение внешней нагрузки между главными балками (плитами) пролётного строения, которые в свою очередь могут рассматриваться как упругие опоры, на которых покоится эта «условная поперечная балка», или же как сплошное упругое основание. (Последнее оказалось более удобным и универсальным для последующих вычислений и построений.) Таким образом, сами главные балки

выполняют роль некоего упругого основания с пока ещё неизвестным коэффициентом упругости  $k$ , нагрузку на которое передаётся через условную поперечную балку, лежащую на этом основании и имеющую постоянную по длине изгибную жёсткость  $EI$  (так же пока не известную) и длину, равную ширине поперечного сечения. Измеряя прогибы по всей ширине поперечного сечения, и зная величину и положение нагрузки, вызывающей эти прогибы, не сложно определить как коэффициент упругого основания  $k$ , так и жёсткость условной поперечной балки  $EI$ . Далее, используя формулы для отыскания прогибов балки конечной длины на сплошном упругом основании, строятся линии влияния этих прогибов для мест, в которых расположены оси главных балок (плит) пролётного строения. Ординаты этих линий влияния будучи разделенными на сумму ординат под осями всех балок (плит) сечения и дают нам значения ординат искомых поперечных линий влияния коэффициентов распределения.

Построенные описанным методом линии влияния хорошо совпали с натурными, полученными при испытаниях опытного 18-метрового автодорожного пролётного строения (проект ВСК 31-87) с 14-ю П-образными предварительно напряжёнными балками в поперечном сечении.

Однако построение поперечных линий влияния не является самоцелью, а лишь необходимым звеном для определения коэффициентов поперечной установки (КПУ). Последние находятся путём загрузения линий влияния силами от колёс (колей) автомобильной или тяжёлой одиночной нагрузки. Именно сравнивая КПУ, найденные с использованием метода «условной поперечной балки», с истинными значениями можно судить о точности и области применимости предложенного метода. Возможность для такого достаточно широкого сравнения и анализа дают матрицы коэффициентов поперечного распределения, приведенные в [1] для различных длин типовых пролётных строений с бездиафрагменными и диафрагменными преднапряжёнными и не преднапряжёнными балками и плитами. Матрицы эти были получены пространственным расчётом и нет оснований сомневаться в их истинности, а раз так, то построенные по ним поперечные линии влияния можно рассматривать как натурные. Загружая эти линии мы получаем истинные значения коэффициентов поперечной установки КПУ(ист.) Одновременно из тех же матриц можно выделить форму деформированного поперечного сечения под действием единичной силы, расположенной строго по оси пролётного строения, и найти по

ней отношение  $k$  к  $EI$ .

Величина отношения  $k$  к  $EI$  собственно и определяет очертания и ординаты линий влияния, которые строятся при помощи метода «условной поперечной балки». Таким образом, мы имеем возможность по одной и той же матрице для конкретного пролётного строения получать два семейства поперечных линий влияния. Одно семейство «истинное», а второе - найденное методом «условной поперечной балки».

Теперь линии из разных семейств, и относящиеся к одной и той же главной балке (плите), легко сравнивать между собой. Так же могут подлежать сравнению и коэффициенты поперечной установки к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденные по этим линиям и, как результат, установлены границы применимости и точность проверяемого метода.

На рис. 1...4 в качестве примера приведены поперечные линии влияния коэффициентов распределения усилий соответственно на балки Б1...Б4 (счёт балок в поперечном сечении слева направо; всего балок 7 шт.) типового предварительно напряжённого бездиафрагменного пролётного строения расчётной длиной 20,4 м, построенные методом «условной поперечной балки» и по матрице, приведенной в [1] для соответствующего пролётного строения с элементами конструкции по рис. 5.

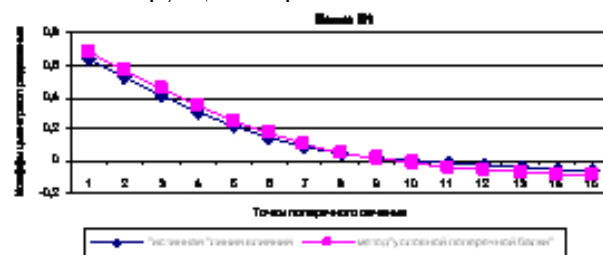


Рис. 1. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б1, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

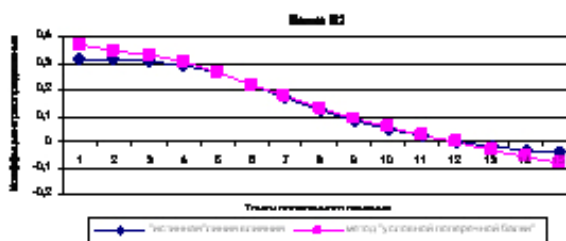


Рис. 2. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б2, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

По каждой из этих линий влияния были найдены коэффициенты поперечной установки к нормативной одиночной колёсной нагрузке НК, а так же к нормативной временной автомо-

бильной нагрузки АК. Для каждой балки в поперечном сечении выбиралось такое положение нагрузки поперёк проезжей части пролётногo строения, при котором усилия, передаваемые на балку, были бы максимальными.

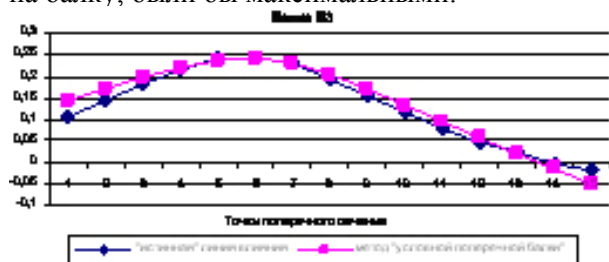


Рис. 3. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б3, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

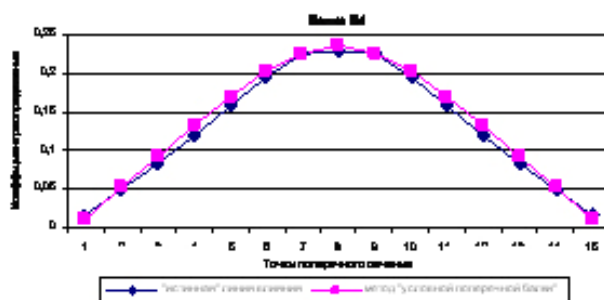


Рис. 4. Сравнение поперечной линии влияния коэффициента распределения усилия на балку Б4, построенной методом «условной поперечной балки», с «истинной»

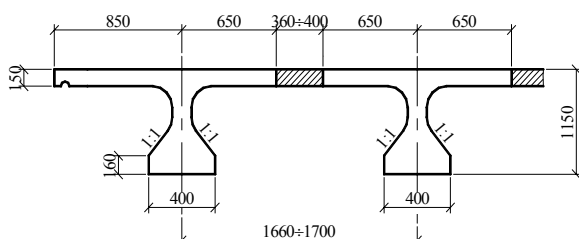


Рис. 5. Фрагмент поперечного сечения типового предварительнонапряжённого пролётногo строения без диафрагм (Союздорпроект, серия 3.503-14. Вып. 3 инв. № 710/3. 1969 г.)

Результаты определения значений КПУ к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденным путём загрузения «истинных» поперечных линий влияния (КПУ ист.) и по линиям влияния, полученным методом «условной поперечной балки» (КПУ усл. балки), приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, для крайней балки Б1 расхождение находится в пределах 11 %, а для остальных балок в пределах 5-6 %. Для сравнения отметим, что расчётный метод «внецентренного сжатия» в нашем случае для крайней балки Б1 даёт погрешность до 41 %, что явно не приемлемо.

Проведены сравнения КПУ, найденные с использованием метода «условной поперечной балки» с «истинными» ещё для ряда типовых

железобетонных пролётных строений различной длины и ширины. Там так же уровень расхождений близок к данным в табл. 1, что вполне приемлемо для расчётов, связанных с определением фактической грузоподъёмности эксплуатируемых железобетонных автодорожных балочных пролётных строений мостов.

Таблица 1

**Сравнение результатов определения значений КПУ к нормативным временным подвижным нагрузкам, найденным путём загрузения «истинных» поперечных линий влияния и по линиям влияния, полученным методом «условной поперечной балки»**

Нагрузка	К-во полос	КПУ ист.	КПУ усл. балки	Расхождение, %
<b>Балка Б1</b>				
НК	1	0,1908	0,2122	+11,2
АК	1	0,3647	0,3976	+9,0
АК	2	0,4611	0,5040	+9,3
АК	3	0,4539	0,4782	+5,4
<b>Балка Б2</b>				
НК	1	0,2190	0,2294	+4,8
АК	1	0,2898	0,3059	+5,6
АК	2	0,4523	0,4772	+5,5
АК	3	0,4861	0,5161	+6,2
<b>Балка 3</b>				
НК	1	0,2188	0,2212	+1,1
АК	1	0,2321	0,2305	-0,7
АК	2	0,4127	0,4247	+2,9
АК	3	0,5444	0,5324	+5,6
<b>Балка Б4</b>				
НК	1	0,2264	0,2119	+2,7
АК	1	0,2205	0,2232	+1,2
АК	2	0,3889	0,4021	+3,4
АК	3	0,4951	0,5177	+4,6

Таким образом, экспериментально-расчётный метод «условной поперечной балки» жизнеспособен и может быть рекомендован к практическому применению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 32-78 Инструкция по определению грузоподъёмности железобетонных балочных пролётных строений автодорожных мостов. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1979. – 142 с.
2. Сухоруков Б. Д. Метод построения поперечных линий влияния коэффициентов распределения усилий в пролётных строениях мостов по данным статических испытаний / Сб. научн. тр. Строительство, материаловедение, машиностроение. № 37. - Д.: ПГАСА, 2006. – С. 480-485.
3. Сухоруков Б. Д. Нахождение коэффициентов распределения усилий в пролётных строениях эксплуатируемых мостов методом «условной поперечной балки» / Сб. «Дороги і мости». Вип. 7. В 2-х т. Т. 2. – К: ДерждорНДІ, 2007. С. 228-236.

Поступила в редколлегию 10.10.2007.