

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК

Ковров А.В., Чайковский Р.Э., Чайковский А.Э. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса)

Визначені значення відношень згинальних моментів, виникаючих при статичному та динамічному прикладенні навантаження, для нерозрізної балки при різних значеннях частот вимушених коливань.

Актуальность исследований – неразрезные балки являются системами с бесконечным числом степеней свободы. Однако в большинстве применяемых в практике расчетных схем распределенная по объему масса заменяется сосредоточенными массами. Динамический расчет сводится к применению коэффициента динамичности.

Цель работы – исследовать распределение внутренних усилий и перемещений в неразрезных балках при статических нагрузках и вынужденных гармонических колебаниях.

В большинстве случаев динамический расчет конструкции сводится к ее статическому расчету с последующим умножением статических эпюр внутренних усилий и перемещений на коэффициент динамичности $\mu_{дин}$ [1].

Определим значения отношений изгибающих моментов, возникающих при статическом и динамическом приложении нагрузки, для неразрезной балки, схема армирования которой приведена на рис.1, при различных значениях частот вынужденных колебаний:

$$\zeta = \frac{M_{дин}}{M_{ст}}, \quad (1)$$

где $M_{дин}$ – изгибающий момент, возникающий от динамически приложенной нагрузки при частоте вынужденных колебаний θ ;

$M_{ст}$ – изгибающий момент, возникающий от статически приложенной нагрузки.

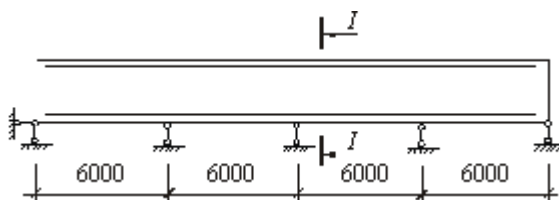


Рис. 1. Схема армирования балки

На рис. 2 приведено поперечное сечение балки.

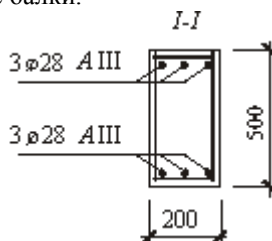


Рис. 2. Поперечное сечение

Балка выполнена из бетона класса В20, армирована симметричными каркасами с рабочей арматурой диаметром 28 мм из стали класса АIII.

Вынуждающая динамическая нагрузка принимается заданной по гармоническому закону $F(t) = F_0 \sin \theta t$. На рис. 3 приведена схема динамического нагружения балки.

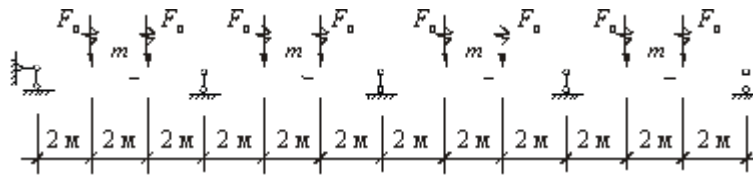


Рис. 3. Схема динамического нагружения балки

Инерционная сила, возникающая при работе оборудования, $F_0 = 20 \text{ кН}$, погонная масса балки $m = 2,5 \text{ кН/м}$, жесткость железобетонной балки $B = 79615,11 \text{ кНм}^2$.

Балка рассчитана на действие статически приложенной нагрузки, соответствующей амплитудной $F_0 = 20 \text{ кН}$. Значения статических изгибающих моментов определялись в сечениях с шагом $0,5 \text{ м}$.

С помощью программы, составленной в системе компьютерной математики MATLAB [2], определены первые четыре частоты собственных колебаний рассматриваемой балки, значения которых соответственно равны:

$$\omega_1 = 48,9243 \text{ 1/с}; \quad \omega_2 = 57,0758 \text{ 1/с};$$

$$\omega_3 = 76,4292 \text{ 1/с}; \quad \omega_4 = 98,7511 \text{ 1/с}.$$

Был выполнен динамический расчет балки [2], по результатам которого были определены значения динамических изгибающих моментов в тех же сечениях при различных значениях частот вынужденных колебаний.

При динамическом расчете балки использовалась методика определения напряженно-деформированного состояния неразрезных балок при вынужденных колебаниях, основанная на применении численно-аналитического варианта метода граничных элементов (МГЭ).

Частота вынужденных колебаний задавалась с шагом на отрезке $0 < \theta \leq \omega_1$, равным $\Delta = 0,1\omega_1$, на отрезке $\omega_1 < \theta \leq \omega_2$, равным $\Delta = 0,1(\omega_2 - \omega_1)$, а на отрезке $\omega_2 < \theta \leq \omega_3$, равным $\Delta = 0,1(\omega_3 - \omega_2)$.

При динамическом приложении нагрузки распределение внутренних усилий и перемещений зависит от сил инерции, а, следовательно, от значений частоты вынужденных колебаний [1].

Вследствие этого эпюры динамических усилий и перемещений в неразрезных балках могут даже по характеру различаться с эпюрами статических усилий и перемещений.

В таблице 1 приведены значения статических и динамических изгибающих моментов в характерных сечениях половины балки при значениях частоты вынужденных колебаний на отрезке .

В таблице 2 приведены значения отношений ξ_i для каждого характерного сечения при изменяемой частоте вынужденных колебаний.

Проведена статистическая обработка полученных значений отношений ξ_i в характерных сечениях балки. Результаты статистической обработки представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 1

Координата $x, м$	Статический расчет	Изгибающий момент $M, кНм$									
		Динамический расчет									
		$\theta=0,1\omega t$	$\theta=0,2\omega t$	$\theta=0,3\omega t$	$\theta=0,4\omega t$	$\theta=0,5\omega t$	$\theta=0,6\omega t$	$\theta=0,7\omega t$	$\theta=0,8\omega t$	$\theta=0,9\omega t$	$\theta=\omega t$
0,5	7,14	7,19	7,33	7,57	7,95	8,49	9,26	10,39	12,15	15,19	21,71
1,0	14,29	14,37	14,64	15,11	15,82	16,85	18,32	20,49	23,85	29,66	42,16
1,5	21,43	21,55	21,92	22,56	23,55	24,97	27,02	30,02	34,68	42,76	60,17
2,0	28,57	28,71	29,15	29,91	31,08	32,76	35,19	38,75	44,30	53,94	74,77
2,5	25,71	25,86	26,32	27,13	28,37	30,16	32,74	36,54	42,48	52,83	75,27
3,0	22,86	23,00	23,44	24,22	25,40	27,13	29,61	33,20	39,09	49,22	71,32
3,5	20,00	20,12	20,50	21,17	22,18	23,67	25,83	29,05	34,14	43,13	62,90
4,0	17,14	17,23	17,51	17,99	18,74	19,84	21,45	23,88	27,77	34,75	50,36
4,5	4,29	4,33	4,47	4,71	5,10	5,68	6,56	7,93	10,21	14,45	24,29
5,0	-8,57	-8,58	-8,60	-8,64	-8,68	-8,71	-8,70	-8,59	-8,24	-7,30	-4,45
5,5	-21,43	-21,49	-21,69	-22,03	-22,54	-23,23	-24,18	-25,46	-27,25	-29,96	-34,91
6,0	-34,29	-34,41	-34,79	-35,45	-36,43	-37,82	-39,75	-42,47	-46,49	-53,03	-66,16
6,5	-23,33	-23,43	-23,74	-24,28	-25,10	-26,27	-27,94	-30,35	-34,04	-40,32	-53,58
7,0	-12,38	-12,46	-12,70	-13,12	-13,76	-14,71	-16,10	-18,18	-21,49	-27,40	-40,51
7,5	-1,43	-1,48	-1,65	-1,95	-2,43	-3,15	-4,24	-5,96	-8,83	-14,20	-26,71
8,0	9,52	9,49	9,39	9,20	8,88	8,38	7,58	6,25	3,89	-0,76	-12,11
8,5	10,48	10,46	10,41	10,32	10,15	9,85	9,33	8,39	6,59	2,83	-6,77
9,0	11,43	11,43	11,43	11,41	11,36	11,23	10,96	10,39	9,19	6,48	-0,82
9,5	12,38	12,39	12,42	12,46	12,50	12,51	12,46	12,24	11,64	10,10	5,59
10,0	13,33	13,35	13,39	13,46	13,56	13,68	13,80	13,90	13,90	13,61	12,30
10,5	4,29	4,30	4,35	4,44	4,56	4,75	5,01	5,40	5,99	7,01	9,16
11,0	-4,76	-4,75	-4,70	-4,62	-4,48	-4,25	-3,87	-3,22	-2,06	0,29	6,09
11,5	-13,81	-13,80	-13,76	-13,69	-13,54	-13,28	-12,80	-11,91	-10,18	-6,50	3,04
12,0	-22,86	-22,85	-22,82	-22,76	-22,62	-22,33	-21,76	-20,63	-18,34	-13,31	0,0

Таблица 2

Координата $x, м$	Отношение ξ при частоте вынужденных колебаний									
	$\theta=0,1\omega t$	$\theta=0,2\omega t$	$\theta=0,3\omega t$	$\theta=0,4\omega t$	$\theta=0,5\omega t$	$\theta=0,6\omega t$	$\theta=0,7\omega t$	$\theta=0,8\omega t$	$\theta=0,9\omega t$	$\theta=\omega t$
0,5	1,00700	1,02661	1,06022	1,11345	1,18908	1,29692	1,45518	1,70168	2,12745	3,04062
1,0	1,00560	1,02449	1,05738	1,10707	1,17915	1,28202	1,43387	1,66900	2,07558	2,95031
1,5	1,00560	1,02287	1,05273	1,09893	1,16519	1,26085	1,40084	1,61829	1,99533	2,80775
2,0	1,00490	1,02030	1,04690	1,08785	1,14666	1,23171	1,35632	1,55058	1,88799	2,61708
2,5	1,00583	1,02373	1,05523	1,10346	1,17308	1,27343	1,42124	1,65228	2,05484	2,92765
3,0	1,00612	1,02537	1,05949	1,11111	1,18679	1,29528	1,45669	1,70997	2,15311	3,11986
3,5	1,00600	1,02500	1,05850	1,10900	1,18350	1,29150	1,45250	1,70700	2,15650	3,14500
4,0	1,00525	1,02159	1,04959	1,09335	1,15753	1,25146	1,39323	1,62019	2,02742	2,93816
4,5	1,00932	1,04196	1,09790	1,18881	1,32401	1,52914	1,84848	2,37995	3,36830	5,66200
5,0	1,00117	1,00350	1,00817	1,01284	1,01634	1,01517	1,00233	0,96149	0,85181	0,51925
5,5	1,00280	1,01213	1,02800	1,05180	1,08399	1,12832	1,18805	1,27158	1,39804	1,62902
6,0	1,00350	1,01458	1,03383	1,06241	1,10295	1,15923	1,23855	1,35579	1,54652	1,92943
6,5	1,00429	1,01757	1,04072	1,07587	1,12602	1,19760	1,30090	1,45907	1,72825	2,29661
7,0	1,00646	1,02585	1,05977	1,11147	1,18821	1,30048	1,46850	1,73586	2,21325	3,27221
7,5	1,03497	1,15385	1,36364	1,69930	2,20280	2,96503	4,16783	6,17483	9,93007	18,6783
8,0	0,99685	0,98634	0,96639	0,93277	0,88025	0,79622	0,65651	0,40861	-0,07980	-1,27206
8,5	0,99809	0,99332	0,98473	0,96851	0,93989	0,89027	0,80057	0,62882	0,27004	-0,64599
9,0	1,00000	1,00000	0,99825	0,99388	0,98250	0,95888	0,90901	0,80402	0,56693	-0,07174
9,5	1,00081	1,00323	1,00646	1,00969	1,01050	1,00646	0,98869	0,94023	0,81583	0,45153
10,0	1,00150	1,00450	1,00975	1,01725	1,02626	1,03526	1,04276	1,04276	1,02101	0,92273
10,5	1,00233	1,01399	1,03497	1,06294	1,10723	1,16783	1,25874	1,39627	1,63403	2,13520
11,0	0,99790	0,98739	0,97059	0,94118	0,89286	0,81303	0,67647	0,43277	-0,06090	-1,27941
11,5	0,99928	0,99638	0,99131	0,98045	0,96162	0,92686	0,86242	0,73715	0,47067	-0,22013
12,0	0,99956	0,99825	0,99563	0,98950	0,97682	0,95188	0,90245	0,80227	0,58224	0,00000

Таблица 3

Статистическая оценка распределения отношения ζ_1 при частоте вынужденных колебаний	$\theta=0,1\omega_1$	$\theta=0,2\omega_1$	$\theta=0,3\omega_1$	$\theta=0,4\omega_1$	$\theta=0,5\omega_1$	
Выборочное среднее M_x	1,00443	1,01845	1,04293	1,08012	1,13347	
Выборочная дисперсия S_x	0,07331	0,03215	0,07601	0,14668	0,25345	
Выборочный коэффициент вариации v_x	0,07328	0,03157	0,07288	0,13580	0,22360	
Доверительный интервал ($P=0,95$)						
	\bar{p}_n	1,00146	1,00558	1,01251	1,02143	1,03207
	\underline{p}_n	1,00730	1,03131	1,07333	1,13880	1,23487

Таблица 4

Статистическая оценка распределения отношения ζ_1 при частоте вынужденных колебаний	$\theta=0,6\omega_1$	$\theta=0,7\omega_1$	$\theta=0,8\omega_1$	$\theta=0,9\omega_1$	$\theta=\omega_1$	
Выборочное среднее M_x	1,20937	1,32009	1,49003	1,78060	2,39806	
Выборочная дисперсия S_x	0,41638	0,67590	1,11183	1,93546	3,86962	
Выборочный коэффициент вариации v_x	0,34430	0,51171	0,74619	1,08697	1,61364	
Доверительный интервал ($P=0,95$)						
	\bar{p}_n	1,04278	1,04983	1,04519	1,00626	0,84989
	\underline{p}_n	1,37596	1,59035	1,93484	2,55495	3,94623

Выводы

1. Результаты статистической обработки полученных отношений изгибающих моментов, возникающих при статическом и динамическом приложении нагрузки, свидетельствуют о том, что не существует такого единого коэффициента динамичности, умножением на который статических значений усилий можно определять их динамические значения.

2. Использование коэффициента динамичности возможно в области вынужденных частот $\theta \leq 0,3\omega_1$.

Summary

The values of the relations of the bending moments arising from the static and dynamic load application, for a continuous beam at different frequencies of forced oscillations.

1. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е.С.Сорокин. – Москва: Госстройиздат, 1956. – 340с.

Ковров А.В. Применение численно-аналитического варианта метода граничных элементов к определению напряженно-деформированного состояния вынужденных колебаний неразрезной железобетонной балки / А.В.Ковров, Р.Э.Чайковский // Вісник ПДАБА. – Днепропетровск, 2008. – № 6-7. – С. 10-14.