МПС — ГУУЗ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант РАДЗИХОВСКАЯ Е. Ф.

КОЛЕБАНИЯ АРОЧНЫХ СИСТЕМ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1966

Публичная защита диссертации состоится на заседании Учёного совета 29 марта 1966 г.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу: Днепропетровск, Университетская, 2, институт инженеров железнодорожного транспорта.

Дата отправки автореферата 1966 г.

МПС — ГУУЗ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант РАДЗИХОВСКАЯ Е. Ф.

КОЛЕБАНИЯ АРОЧНЫХ СИСТЕМ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
ЛАЗАРЯН В. А.

Днепропетровск
1966

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Быстрое развитие народного хозяйства нашей страны требует непрерывного увеличения объема перевозок. Основными путями решения этой задачи являются увеличение скоростей движения на железнодорожном и автодорожном транспорте и увеличение веса подвижного состава.

Рост скоростей и увеличение веса подвижного состава приводит к увеличению статических и динамических нагрузок, действующих на искусственные сооружения.

В настоящее время широкое распространение получили арочные мосты различных конструкций. Расчет их на статическую нагрузку разработан достаточно подробно, значительно большие затруднения вызывает расчет на подвижную нагрузку.

В связи с этим представляют интерес задачи о свободных и вынужденных колебаниях арок и арочных систем. Особый интерес представляет задача о колебаниях арочных систем под воздействием подвижной нагрузки, обладающей массой. Некоторые из этих задач рассмотрены в реферируемой работе.

В первой главе дан краткий обзор литературы, посвященной свободным и вынужденным колебаниям арок и арочных систем (работы К. Федергофера, И. М. Рабиновича, А. Ф. Смирнова, Н. К. Снитко, А. Б. Моргаевского, Н. Г. Бондаря, А. А. Петропавловского и др.). Также дается обзор работ, в которых рассмотрены колебания упругих систем под воздействием подвижной нагрузки, обладающей массой (работы Заллера, Шалленкампа, С. А. Ильясевича, И. И. Гольденблата, В. В. Болотина, А. Б. Моргаевского, А. П. Филиппова, С. И. Конашенко, А. Д. де Патера и др.).

Во второй главе рассмотрены свободные колебания арок. Арка заменялась ломаным стержнем и масса ее сосредотачивалась в узлах. Симметричные и кососимметричные формы колебаний рассматривались раздельно. При этом были использованы эквивалентные схемы, представляющие собой полуарки с соответствующим закреплением замка. Закрепление замка выбиралось таким, чтобы граничные условия в замке для арки и эквивалентной схемы были одинаковыми. Частоты и формы свободных колебаний определялись методом последовательных приближений. Матрица коэффициентов влияния не строилась, а определялись непосредственно перемещения от инерционных «сил» $P_i^{в} = v_i m_i$ и $P_i^{г} = u_i m_i$. Здесь v_i и u_i — вертикальные и горизонтальные перемещения сосредоточенных масс, m_i — сосредоточенные массы. Перемещения определялись с помощью упругих грузов, при этом учитывалось влияние продольных и частично (примерно 30%) поперечных сил.

Для определения второй частоты в исходных значениях перемещений для каждого приближения исключалась первая форма свободных колебаний. Для определения третьей частоты исключались первые две формы колебаний.

Детально рассмотрены трехшарнирная арка постоянного поперечного сечения и бесшарнирная арка, момент инерции которой меняется по закону $J = \frac{J_з}{\cos\varphi}$. Поперечное сечение бесшарнирной арки представляет собой прямоугольник постоянной ширины и переменной высоты. Оси арок очерчены по квадратной параболе. Масса полуарки сосредотачивалась в 10 точках. Относительно большое число сосредоточенных масс бралось для того, чтобы получить достаточно точные значения ординат форм колебаний. Все вычисления произведены на ЭЦВМ Урал-1.

Значения коэффициентов частот, соответствующих кососимметричным формам колебаний бесшарнирной арки, приведены в таблице 1, симметричным — в таблице 2.

Таблица 1.

γ	$f/l = 0,1$		$f/l = 03$		$f/l = 0,5$	
	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2
0	57,73	189,8	39,38	141,4	25,42	97,78
0,0001	57,64	189,1	39,31	141,1	25,38	97,54
0,0002	57,55	188,3	39,25	140,6	25,34	97,30
0,0003	57,47	187,6	39,18	140,2	25,30	97,06
0,0004	57,38	186,8	—	—	25,27	96,78

Таблица 2.

γ	$f/l=0,1$		$f/l=0,3$		$f/l=0,5$	
	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2
0	107,35	277,8	83,29	212,0	56,65	147,3
0,0001	98,88	149,9	83,04	209,6	56,56	146,6
0,0002	84,90	125,4	82,77	200,2	56,53	146,3
0,0003	73,28	120,1	82,48	173,3	56,36	144,6
0,0004	65,36	117,8	82,18	151,8	56,26	143,0

Здесь f и l — соответственно стрела и пролет арки.

Параметр $\gamma=\dfrac{4J_3}{l^2F_3}$ учитывает влияние продольных и поперечных сил.

I_3 и F_3 — момент инерции и площадь поперечного сечения арки в замке.

Частоты свободных колебаний определяются по формуле

$$\omega=\nu\sqrt{\frac{EJ_3}{\mu_3 l^4}},$$

где: ν — коэффициент частоты,

μ_3 — интенсивность массы арки в замке.

Из таблиц видно, что продольные и поперечные силы оказывают значительное влияние только на частоты симметричных форм колебаний пологих арок.

Предлагаемая методика применима для арок с любым очертанием оси и любым законом изменения моментов инерции поперечных сечений.

В третьей главе рассмотрены свободные колебания бесшарнирной арки с надарочным строением. Введены обычные допущения, что стойки несжимаемы и прикреплены к арке и надарочному строению шарнирно. Масса надарочного строения сосредотачивалась в местах примыкания стоек. Перемещения арки с надарочным строением представлялись в виде разложения по формам свободных колебаний арки (в разложении учитывались две формы колебаний арки)

$$v_i=V_{i1}\,q_1+V_{i2}\,q_2, \qquad (1)$$

$$u_i=U_{i1}\,q_1+U_{i2}\,q_2.$$

Здесь V_{i1}, V_{i2}, U_{i1}, U_{i2} — вертикальные и горизонтальные перемещения, соответствующие двум низшим формам свободных колебаний арки без надарочного строения, q_1 и q_2 — обобщенные координаты.

Уравнения движения составлялись в форме уравнений Лагранжа второго рода. При определении квазиупругих коэффициентов для надарочного строения был использован способ, предложенный В. А. Лазаряном и С. И. Конашенко*).

Способ несколько видоизменен. Видоизменение заключается в следующем: вместо того, чтобы прикладывать к балке силу и затем искать величину этой силы из условия, что перемещение под ней равно единице, непосредственно определены опорные моменты от единичного смещения.

По опорным моментам определяются опорные реакции, которые и представляют собой квазиупругие коэффициенты r_{in}.

Кинетическая энергия арки и балки и потенциальная энергия арки определялись обычным способом. После подстановки в уравнения Лагранжа получена система уравнений

$$\begin{aligned}(a_1+\overline{a}_{11})\ddot{q}_1+\overline{a}_{12}\ddot{q}_2+(c_1+\overline{c}_{11})q_1+\overline{c}_{12}q_2&=0\\ \overline{a}_{12}\ddot{q}_1+(a_2+\overline{a}_{22})\ddot{q}_2+\overline{c}_{12}q_1+(c_2+\overline{c}_{22})q_2&=0\end{aligned} \qquad (2)$$

где

$$a_s=\sum_{i=1}^{n} m_i\left(V_{is}^2+U_{is}^2\right),$$

$$\overline{a}_{sl}=\sum_{i=1}^{n}\overline{m}_i V_{is} V_{il},$$

$$(s,\ l=1,2).$$

$$c_s=a_s\,\omega_s^2.$$

$$\overline{c}_{sl}=\sum_{i,k=1}^{n} r_{ik} V_{is} V_{kl},$$

$\overline{m}_i$ — сосредоточенные массы балки,
ω_s — частоты свободных колебаний арки без надарочного строения.

---

*) Строительная механика и расчет сооружений, 1962, № 4.

Вычисления произведены для бесшарнирной арки, для которой $\frac{f}{l} = 0{,}3$, $\gamma = 0{,}0002$ число панелей надарочного строения на полуарке равно 10. Симметричные и кососимметричные формы колебаний рассматривались раздельно. Значения коэффициентов частот для кососиммертичных форм колебаний арки с надарочным строением приведены в таблице 3. В последних двух столбцах таблицы приведены значения коэффициентов частот, которые получаются, если при определении каждой из частот арки с надарочным строением учитывать только одну форму колебаний арки.

Таблица 3.

ψ	$\mu/\mu_з$	p_1	p_2	p_1	p_2
0	0	0,5283	1,893	0,5283	1,893
	0,1	0,5178	1,842	0,5178	1,842
	0,5	0,4813	1,676	0,4814	1,672
	1,0	0,4449	1,524	0,4451	1,514
0,1	0	0,5506	1,974	0,5507	1,974
	0,1	0,5398	1,921	0,5398	1,921
	0,5	0,5018	1,748	0,5018	1,744
	1,0	0,4639	1,589	0,4640	1,579
0,5	0	0,6315	2,270	0,6325	2,270
	0,1	0,6191	2,209	0,6199	2,209
	0,5	0,5760	2,008	0,5763	2,006
	1,0	0,5328	1,825	0,5329	1,816
1,0	0	0,7192	2,593	0,7218	2,593
	0,1	0,7052	2,523	0,7075	2,523
	0,5	0,6563	2,293	0,6577	2,291
	1,0	0,6073	2,083	0,6081	2,074

Коэффициенты частот зависят от отношения погонной массы надарочного строения к погонной массе арки в замке и от отношения ψ жесткостей надарочного строения и арки в замке.

Частоты определяются по формуле

$$\omega = p\sqrt{\omega_{1к}\,\omega_{2к}}\,,$$

где $\omega_{1к} = 39{,}25 \sqrt{\dfrac{EJ_з}{\mu_з l^4}}$ и $\omega_{2к} = 140{,}64 \sqrt{\dfrac{EJ_з}{\mu_з l^4}}$ —

частоты кососимметричных форм колебаний арки без надарочного строения.

Значения коэффициентов частот симметричных форм колебаний приведены в таблице 4.

Таблица 4.

ψ	$\mu/\mu_з$	p_1	p_2	p_1	p_2
0	0	0,6430	1,555	0,6430	1,555
	0,1	0,6223	1,504	0,6223	1,504
	0,5	0,5557	1,340	0,5557	1,340
	1,0	0,4965	1,194	0,4965	1,194
0,1	0	0,6703	1,596	0,6704	1,596
	0,1	0,6486	1,543	0,6488	1,543
	0,5	0,5793	1,375	0,5794	1,375
	1,0	0,5176	1,226	0,5176	1,226
0,5	0	0,7686	1,751	0,7702	1,750
	0,1	0,7438	1,693	0,7454	1,692
	0,5	0,6644	1,508	0,6657	1,508
	1,0	0,5935	1,344	0,5947	1,344
1,0	0	0,8746	1,928	0,8792	1,926
	0,1	0,8464	1,864	0,8508	1,862
	0,5	0,7560	1,660	0,7598	1,659
	1,0	0,6754	1,480	0,6788	1,479

Частоты определяются по формуле $\omega = p\sqrt{\omega_{1c}\,\omega_{2c}}$,

где $\omega_{1c} = 82{,}77 \sqrt{\dfrac{EJ_з}{\mu_з l^4}}$ и $\omega_{2c} = 200{,}18 \sqrt{\dfrac{EJ_з}{\mu_з l^4}}$ —

частоты симметричных форм колебаний арки без надарочного строения.

Кроме частот определены также коэффициенты распределения амплитуд. Их значения малы. В большинстве случаев они не превосходят 0,05.

Из таблиц 3 и 4 видно, что значения коэффициентов частот полученные при учете одной и двух форм колебаний арки отличаются мало.

В четвертой главе рассмотрены колебания арки с надарочным строением при движении по ней груза, обладающего массой. Частоты и формы свободных колебаний такой системы найдены в предыдущей главе. Представим прогибы надарочного строения в виде:

$$v(x, t) = \sum_{i=1}^{2n} X_i(x)\, q_i(t)\,, \tag{3}$$

где $X_i(x)$ — прогибы надарочного строения, соответствующие форме свободных колебаний арки с надарочным строением. Обобщенные координаты $q_i(t)$ определяются из системы уравнений

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + \frac{M}{N^*} \sum_{k=1}^{2n} \left(X_k \frac{d^2 q_k}{dt^2} + 2\, v\, X'_k \frac{dq_k}{dt} + v^2 X_k'' q_k\right) +$$

$$+ \omega_i^2 q_i = \frac{X_i}{N_i^*} P\,, \qquad (i = 1,\ 2 \ldots 2n) \tag{4}$$

здесь v — скорость движения груза, P — его вес, а M—масса,

$$N_i^* = \sum_{i=1}^{n} \left(m_i v^2_{ik} + m_i u^2_{ik} + \overline{m}_i v_{ik}^2\right)\,,$$

v_{ik} и u_{ik} — вертикальные и горизонтальные перемещения сосредоточенных масс арки с надарочным строением, соответствующие к-й форме свободных колебаний.

Структура этих уравнений такая же, как и структура соответствующих уравнений для балок. В последнем случае обычно учитывают только одну форму колебаний. Для арок спектр частот более густой, и считать, что колебания системы с формой, соответствующей низшей частоте свободных колебаний, будут доминирующими, нельзя. В работе учтены две формы свободных колебаний арки с надарочным строением.

Вычисления произведены для случая, когда отношение погонной массы надарочного строения к погонной массе арки в замке равно 0,1. Отношение жесткости надарочного строения к жесткости арки в замке также равно 0,1. Параметр $\gamma = 0{,}0002$.

Определены динамические коэффициенты

$$\eta_1 = \frac{q_1}{(q_{1ст})_{max}} \quad и \quad \eta_2 = \frac{q_2}{(q_{2ст})_{max}} \quad , \tag{5}$$

где $(q_{1ст})_{max}$ и $(q_{2ст})_{max}$ — максимальные значения обобщенных координат при статическом действии груза.

Динамические коэффициенты определялись из уравнений

$$\left(1 + \frac{\beta}{N_1} X_1^2 + \frac{\beta}{N_2} X_2^2\right) \ddot{\eta}_1 + \frac{2\beta}{N_1} X_1 \dot{X}_1 \dot{\eta}_1 + \left(\frac{4\pi^2}{\alpha^2} + \frac{\beta}{N_1} X_1 \ddot{X}_1 + \frac{\beta}{N_2} \frac{4\pi^2}{\alpha^2} X_2^2\right) \eta_1 + \frac{\beta}{N_2} \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} \left[2X_1 \dot{X}_2 \dot{\eta}_2 + \left(X_1 \ddot{X}_2 - \frac{4\pi^2 \omega_2^2}{\alpha^2 \omega_1^2} X_1 X_2\right) \eta_2\right] = \frac{4\pi^2}{\alpha^2} X_1 ; \tag{6}$$

$$\left(1 + \frac{\beta}{N_1} X_1^2 + \frac{\beta}{N_2} X_2^2\right) \ddot{\eta}_2 + \frac{2\beta}{N_2} X_2 \dot{X}_2 \dot{\eta}_2 + \left(\frac{4\pi^2 \omega_2^2}{\alpha^2 \omega_1^2} + \frac{\beta}{N_2} X_2 \ddot{X}_2 + \frac{\beta}{N_1} \frac{4\pi^2 \omega_2^2}{\alpha^2 \omega_1^2} X_1^2\right) \eta_2 + \frac{\beta}{N_1} \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \left[2X_2 \dot{X}_1 \dot{\eta}_1 + \left(X_2 \ddot{X}_1 - \frac{4\pi^2}{\alpha^2} X_1 X_2\right) \eta_1\right] = \frac{4\pi^2 \omega_2^2}{\alpha^2 \omega_1^2} X_2 ,$$

где ω_1 и ω_2 — частоты свободных колебаний арки с надарочным строением,

$$N_1 = \frac{N_1^*}{M_c} \quad ,$$

M_c — полная масса арки с надарочным строением,

α и β — параметры. Параметр α представляет собой отношение скорости движения груза к критической скорости движения силы, соответствующей кососимметричной форме колебаний, параметр β —отношение массы груза к массе арки с надарочным строением. Точками обозначены производные по

$$\xi = \frac{vt}{l}$$

Уравнения были проинтегрированы численно методом Рунге-Кутта на ЭЦВМ Урал-1. Вычисления произведены для четырех значений параметра α (0,1; 0,2; 0,5; 1,0) и трех значений параметра β (0,2; 0,5; 1,0).

Для сравнения при тех же значениях параметров α и β динамические коэффициенты были определены из несвязанных уравнений

Таблица 5

α	β	Невязанные		Связанные	
		η_1	η_2	η_1	η_2
0,1	0,2	+1,029 −1,030	+1,006 −0,609	+1,024 −1,304	+1,006 −0.620
	0,5	+1,041 −1,039	+1,020 −0,6[illegible]6	+1,037 −1,034	+1,004 −0,610
0,2	0,2	+1,070 −1,181	+1,042 −0,642	+1,090 −1,124	+0,998 −0,629
	0,5	+1,135 −1,216	+1,085 −0,655	+1,183 −1,048	+1,065 −0,687
	1,0	+1,250 −1,472	+1,174 −0,767	+1,329 −1,171	+1,302 −1,093
0,5	0,2	+1,826 −2,536	+1,162 −0,963	+1,795 −2,387	+1,302 −1,698
	0,5	+2,008 −3,034	+1,092 −1,017	+1,185 −2,471	+3,280 −3,250
	1,0	+2,322 −3,980	+1,399 −1,252	+1,918 −2,406	+3,099 −4,640
1,0	0,2	+1,642 −2,796	+2,955 −3,763	+1,518 −2,619	+3,131 −4,022
	0,5	+1,847 −1,854	+3,590 −4,491	+1,523 −1,920	+3,810 −5,148
	1,0	+2,122 —	+3,779 −3,718	+1,453 −0,997	+4,642 −6,137

$$\left(1+\frac{\beta}{N_1}X_1^2\right)\ddot{\eta}_1+\frac{2\beta}{N_1}X_1\dot{X}_1\dot{\eta}_1+\left(\frac{4\pi^2}{\alpha^2}+\frac{\beta}{N_1}X_1\ddot{X}_1\right)\eta_1=\frac{4\pi^2}{\alpha^2}X_1\ ; \tag{7}$$

$$\left(1+\frac{\beta}{N_2}X_2^2\right)\ddot{\eta}_2+\frac{2\beta}{N_2}X_2\dot{X}_2\dot{\eta}_2+\left(\frac{4\pi^2\omega_2^2}{\alpha^2\omega_1^2}+\frac{\beta}{N_2}X_2\ddot{X}_2\right)\eta_2=$$

$$=\frac{4\pi^2\omega_2^2}{\alpha^2\omega_1^2}X_2.$$

Эти уравнения получаются, если для каждой обобщенной координаты учитывать силу инерции движущегося груза, зависящую только от этой обобщенной координаты.

Наибольшие и наименьшие значения динамических коэффициентов приведены в таблице 5.

С помощью динамических коэффициентов для обобщенных координат были определены динамические коэффициенты для прогибов в 9 сечениях. Вычисления производились по формуле

$$\mu_i=a_i\eta_1+b_i\eta_2. \tag{8}$$

Числа a_i и b_i для каждого сечения постоянны.

В пятой главе рассмотрены колебания пологой параболической бесшарнирной арки с надарочным строением при движении по ней груза. Параметры системы выбраны так, что две низшие частоты свободных колебаний одинаковы.

Перемещения системы были представлены в виде разложения по формам свободных колебаний. Учитывались две формы колебаний. Динамические коэффициенты для обобщенных координат определялись из уравнений, аналогичных уравнениям (6). Для сравнения динамические коэффициенты были определены также из несвязанных уравнений. Для значений параметров $\alpha=1$ и $\beta=0{,}5$ уравнения были проинтегрированы численно, для других значений α и β решение получено на электронной модели.

Наибольшие и наименьшие значения динамических коэффициентов приведены в таблице 6.

Кроме динамических коэффициентов для обобщенных координат были определены динамические коэффициенты для прогибов в левой и правой четвертях пролета.

Таблица 6

α	β	Несвязанные		Связанные	
		η_1	η_2	η_1	η_2
0,1	0,1	±1,07	±1,03	±1,04	±1,04
	0,5	∓1,07	±1,07	±1,04	±1,04
	1,0	±1,07	±1,07	±1,04	±1,04
0,2	0,1	+1,25 −1,15	+1,15 —	+1,25 −1,15	+1,15 —
	0,5	+1,65 −1,30	+1,30 —	+1,50 −1,30	+1,25 —
	1,0	+2,15 −1,60	+1,45 −0,75	+1,35 —	+1,48 −0,25
0,4	0,1	+1,50 −1,44	+1,20 —	±1,40 —	+1,20 —
	0,5	−1,64 —	+1,40 —	−1,40 —	+1,40 —
	1,0	±2,00 —	+1,75 —	+1,50 —	+1,65 —
1,0	0,1	+2,80 −1,64	+2,00 —	+3,04 −1,40	+2,00 —
	0,5	±2,12 —	+2,40 —	+4,00 −0,96	+2,04 —
	1,0	−5,6 —	+2,50 —	+4,50 −0,80	+1,60 —

Выводы:

1. Метод последовательных приближений с использованием ЭЦВМ дает возможность быстро и достаточно точно определить несколько (две, три) низших частот и форм свободных колебаний арок с произвольным очертанием оси и произвольным законом изменения моментов инерции поперечных сечений.

2. Для симметричных арок свободные колебания, соответствующие симметричным и кососимметричным формам, следует рассматривать раздельно. В этом случае методом по-

следовательных приближений можно найти 4—6 низших частот и форм свободных колебаний.

3. Для пологих арок при определении симметричных форм свободных колебаний и соответствующих им частот необходимо учитывать влияние продольных и поперечных сил на перемещения. Для подъемистых арок при реальных значениях параметров влияние продольных и поперечных сил невелико.

Влияние продольных и поперечных сил на кососимметричные формы колебаний во всех случаях незначительно.

4. При исследовании свободных колебаний арки с надарочным строением перемещения системы были представлены в виде разложения по формам свободных колебаний арки без надарочного строения.

Вычисления показали, что для определения каждой из частот и форм свободных колебаний арки с надарочным строением можно учитывать только одну форму колебаний арки. Это относится не только к низшей частоте симметричной и кососимметричной форм колебаний, но и ко вторым частотам.

5. Получена система дифференциальных уравнений, описывающих колебания арки с надарочным строением при движении по ней груза. По внешнему виду эта система совпадает с соответствующей системой для шарнирно-опертой балки.

6. При малых скоростях движения и малых массах груза динамические коэффициенты, найденные из связанных и несвязанных уравнений, практически совпадают. С увеличением α и β расхождение увеличивается. Это расхождение не является монотонной функцией скорости.

7. Вычисления показали, что для подъемистой арки с надарочным строением с отношением низших частот симметричной и кососимметричной форм колебаний равным 2,08 наибольшее расхождение между динамическими коэффициентами найденными из связанных и несвязанных уравнений, получается при $\alpha = 0{,}5$ (для рассмотренных значений параметров α и β).

8. Для пологой арки с отношением низших частот симметричной и кососимметричной форм колебаний равным 1 наибольшее расхождение получается при $\alpha = 1$.

9. Для подъемистой арки учет связи между обобщенными координатами почти для всех значений параметров α и β понижает наибольшие динамические коэффициенты η_1 (η_1 — соответствует кососимметричной форме колебаний).

Наибольшие динамические коэффициенты η_2 при малых значениях α ($\alpha=0{,}1$ и $\alpha=0{,}2$) также понижаются (кроме $\alpha=0{,}2$

и $\beta=1$). Для остальных значений параметров наибольшие динамические коэффициенты η_2, найденные из связанных уравнений, больше чем из несвязанных.

Разница между наибольшими динамическими коэффициентами, найденными из связанных и несвязанных уравнений, может быть весьма существенной. Например, при $\alpha=0,5$ и $\beta=0,5$ наибольшее значение η_2, полученное из несвязанных уравнений, равно 1,09, из связанных — 3,28.

10. Для пологой арки наибольшие значения динамических коэффициентов η_1 и η_2 в большинстве случаев получаются из несвязанных уравнений.

11. Определены динамические коэффициенты для прогибов. Вычисления показывают, что они могут сильно меняться по длине арки.

Диссертация изложена на 136 страницах, содержит 40 рисунков и 33 таблицы.

Перечень литературы состоит из 157 названий.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Радзиховская Е. Ф. — Определение частот и форм свободных колебаний трехшарнирных арок. Труды ДИИТ, вып. 50, 1964.

2. Радзиховская Е. Ф. — Определение частот и форм свободных колебаний бесшарнирных арок. Труды ДИИТ, вып. 53, 1964.

3. Радзиховская Е. Ф. — Свободные колебания арок с надарочным строением. Труды ДИИТ, вып. 55, 1965.

4. Радзиховская Е. Ф. — Колебания пологой параболической арки при движении по ней груза. Труды ДИИТ, вып. 53, 1964.

5. Музыкин В. А., Радзиховская Е. Ф., Сокол Л. С. — Применение электронных моделей к исследованию колебаний пологой параболической арки при движении по ней груза. Труды ДИИТ, вып. 55, 1965.

Материалы диссертации доложены автором на:

1. Совещании по проблеме нелинейных колебаний механических систем, г. Рига, 1964.

2. Заседании семинара по механике Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, 1965.

БТ 09858. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Заказ 407-м. Тираж 200. Объем 1 п. л. Подписано к печати 3.II-1966 г.