

Б81

39881

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант Г. Г. БОНДАРЬ

КОЛЕБАНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АРОК НА УПРУГИХ
ОПОРАХ

Автореферат

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1960

НТБ
ДНУЖТ

1451a

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

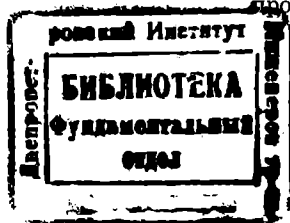
Аспирант Г. Г. БОНДАРЬ

КОЛЕБАНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АРОК НА УПРУГИХ
ОПОРАХ

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель,
доктор технических наук,
профессор Г. Л. ПАВЛЕНКО.



Днепропетровск
1960

НТБ
ДНУЖТ

1457/a

Экспериментальная часть диссертационной работы выполнена в лаборатории строительной механики им. академика А. Н. Динника при Днепропетровском металлургическом институте им. И. В. Сталина.

НТБ
ДНУЖТ

Грандиозный план развития строительства и машиностроения, намеченный Коммунистической партией и Советским правительством на текущую семилетку, ставит перед отечественной наукой и техникой ряд неотложных проблем. Среди этих проблем видное место занимают задачи динамических расчетов строительных конструкций, в том числе арок и арочных мостов, а также мощных, быстроходных станков и механизмов.

Динамическому расчету арок и арочных мостов посвящено большое количество исследовательских работ, особенно отечественных ученых. Благодаря исследованиям профессоров И. М. Рабиновича, И. И. Гольденבלата, В. Г. Чудновского, Н. К. Снитко и многих других, этот вопрос за последнее время достаточно хорошо изучен и освещен в обширной литературе.

Однако, преобладающее большинство исследователей занималось вопросами динамики арок, закрепленных на абсолютно жестких опорах, что не вполне отражает действительные условия работы этих конструкций.

В последнее время некоторыми исследователями (А. И. Оселедько, Б. М. Высочин, Д. Е. Квачадзе) при решении некоторых задач динамики учитывалось упругое защемление арок и оценивалось влияние величины упругости защемления на некоторые динамические факторы.

В реферируемой работе рассматриваются вопросы свободных и вынужденных колебаний параболических арок на упругих опорах.

Целью исследования является оценка влияния не только упругого защемления, но и упругого вертикального и горизонтального смещения пят, а также упругого шарнира в замке на частоты свободных колебаний арок.

Работа состоит из пяти глав.

В **первой** главе дан краткий критический обзор литературы, посвященной колебаниям криволинейных стержней и арок как на жестких, так и на упругих опорах.

Во **второй** главе рассматриваются свободные колебания пологих параболических арок с упругими опорами.

В основу принятого анализа положено решение интегро-дифференциального уравнения динамических моментов

$$M(x, t) = -m \int_0^l H(x, s) \ddot{Y}(s, t) ds. \quad (1)$$

Здесь $H(x, s)$ —уравнение линии влияния изгибающих моментов m —погонная масса.

Это уравнение упрощает анализ и дает возможность непосредственного получения выражения для динамических изгибающих моментов $M(x, t)$ и прогибов $Y(x, t)$ в сечениях арки.

Используя метод Фурье, представим изгибающие моменты и прогибы в виде

$$\left. \begin{aligned} M(x, t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \Phi_i(x) T_i(t) \\ Y(x, t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(x) T_i(t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнение (1) путем двукратного дифференцирования по x и разделения переменных приводится к виду

$$\Phi''(x) + k^4 EI \varphi(x) - N = 0. \quad (3)$$

где $\Phi(x)$ и $\varphi(x)$ —фундаментальные функции изгибающих моментов и прогибов,

N —постоянная величина, равная

$$N = \mu \int_0^l H(s) \varphi(s) ds$$

здесь $H(x)$ —линия влияния распора,

μ —коэффициент, зависящий от вида закрепления пят

k —постоянная величина.

После двойного дифференцирования уравнения (3) и использования дифференциальной зависимости Журавского, получаем дифференциальное уравнение, решение которого известно.

$$\Phi^{IV}(x) - k^4 \Phi(x) = 0. \quad (4)$$

Это уравнение не зависит от вида закрепления пят и наличия шарнира в замке и может быть использовано для получения уравнения частот арок с любыми схемами закрепления пят.

С целью упрощения анализа, симметричные и кососимметричные колебания рассматривались отдельно.

Используя граничные условия, из решения уравнения (4) получаем системы алгебраических уравнений. Решая эти системы, получаем трансцендентные уравнения частот и фундаментальные функции изгибающих моментов:

1. Симметричные колебания;

а) бесшарнирная арка с упругим защемлением и линейным смещением пят

$$\frac{4}{\delta + 2d_1} = \frac{4d_3\gamma^6 + \gamma^3(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{th}\gamma) - 16d_2[d_3\gamma(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{th}\gamma) + \operatorname{tg}\gamma \operatorname{tg}\gamma] \gamma^8}{4d_3\gamma^2 + (1 - 2d_3)(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{th}\gamma)\gamma - 2\operatorname{tg}\gamma \operatorname{th}\gamma} \quad (5)$$

$$\Phi(x) = (\operatorname{sh}\gamma + 2\gamma d_3 \operatorname{ch}\gamma) \cos kx - (\sin\gamma + 2\gamma d_3 \cos\gamma) \operatorname{ch} kx$$

где $\gamma = \frac{kl}{2}$, $\delta = \frac{i^2_3}{f^2}$, l — пролет арки

б) та же арка при наличии шарнира в замке

$$\frac{4}{\delta + d_1} = \frac{\gamma^3 \{ E(\gamma) - d_3\gamma[B(\gamma) + \gamma^3 d_2 D(\gamma)] - \gamma^3 d_2 A(\gamma) \}}{\gamma E(\gamma) - A(\gamma) - d_3\gamma[\gamma B(\gamma) + D(\gamma)]}$$

$$\Phi(x) = [U(\gamma) + \gamma d_3 V(\gamma)] U(kx) - [S(\gamma) + \gamma d_3 U(\gamma)] V(kx)$$

в) та же арка при наличии упругого шарнира в замке

$$\begin{aligned} \frac{4}{\delta + d_1} = & \frac{\gamma^6 \{ d_0[\gamma d_3(B(\gamma) + \gamma^3 d_2 D(\gamma)) + \gamma^3 d_2 A(\gamma) - E(\gamma)] + \gamma^3 d_2 S_1(\gamma) - }{\gamma^2 d_0[d_3(\gamma B(\gamma) + D(\gamma)) - E(\gamma)] - } \times \\ & \times \frac{-d_3 C(\gamma) - \frac{1}{\gamma}(1 - \gamma^4 d_3 d_2) A(\gamma)}{-\gamma(1 - d_0 - d_3) A(\gamma) + S_1(\gamma) - \gamma^2 d_3 C(\gamma)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Phi(\gamma) = & 2\gamma d_0[V(\gamma) + \gamma d_3 U(\gamma)] V(kx) - 2\gamma d_0[S(\gamma) + \gamma d_3 V(\gamma)] U(kx) + \\ & + (\operatorname{sh}\gamma + \gamma d_3 \operatorname{ch}\gamma) \cos kx - (\sin\gamma + \gamma d_3 \cos\gamma) \operatorname{ch} kx. \end{aligned}$$

2. Кососимметричные колебания арки с упругим защемлением и линейным смещением пят

$$d_2 = \frac{\gamma d_3 S_1(\gamma) + B(\gamma)}{\gamma^3[d_3\gamma B(\gamma) - C(\gamma)]} \quad (7)$$

$$\Phi(x) = (\operatorname{ch}\gamma + \gamma d_3 \operatorname{sh}\gamma) \sin kx + (\cos\gamma - \gamma d_3 \sin\gamma) \operatorname{sh} kx.$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$\gamma = kl$; l —полупролет арки, d_1, d_2, d_0, d_3 —приведенные коэффициенты горизонтальной d_1 , вертикальной d_2 и угловой (d_0 —упругого шарнира в замке, d_3 —упругого защемления пяты) податливостей, f —стрела подъема оси арки, i_3 —радиус инерции замкового сечения, $A(\gamma)$, $B(\gamma)$, $C(\gamma)$, $D(\gamma)$, $E(\gamma)$, $S_1(\gamma)$ —сочетания круговых и гиперболических функций, принятые в обозначениях известного справочника*.

Частоты колебаний связаны с корнями γ формулой

$$\theta = \frac{\gamma^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

Как видно из (7), уравнение кососимметричных колебаний не зависит от приведенного коэффициента упругого замкового шарнира (d_0). Это указывает на то, что частоты кососимметричных колебаний не зависят от наличия шарнира в замке, что, в свою очередь, объясняется наличием точки перегиба (момент равен нулю) в замке при кососимметричных формах колебаний.

Кроме того, оказывается, что горизонтальная податливость также не влияет на частоты кососимметричных колебаний, т. к. в уравнение (7) не входит d_1 .

Некоторые результаты решений уравнения частот (5) приведены в таблице 1, а уравнения (7) в таблице 2.

Таблица 1.

γ_1						γ_2					
$\frac{4}{d_3 + 2d_1}$	0	0.01	0.10	1.00	∞	$\frac{4}{d_3 + 2d_1}$	0	0.01	0.10	1.00	∞
0	2.36	2.34	1.18	1.79	1.57	0	5.50	5.45	5.17	4.81	4.71
10	2.49	2.47	2.34	2.06	1.94	100	5.52	5.47	5.20	4.83	4.74
50	2.84	2.84	2.77	2.65	2.61	500	5.64	5.60	5.37	5.07	5.00
100	3.15	3.15	3.12	3.06	3.04	1000	5.91	5.88	5.76	5.63	5.60
320	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	2900	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07
1000	4.81	4.80	4.70	4.54	4.49	10000	8.34	8.28	8.02	7.79	7.74
∞	5.26	5.19	4.97	4.67	4.69	∞	8.51	8.43	8.11	7.84	7.78

* Ананьев И. В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. М., Гостехиздат, 1946.

Таблица 2.

$d_2 \backslash d_3$	0	0.01	0.10	1.00	∞
0	3.927	3.889	3.665	3.272	3.142
0.01	3.370	3.367	3.347	3.167	2.989
0.0743	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365
0.10	1.686	1.681	1.639	1.467	1.310
∞	1.571	1.563	1.501	1.102	0

Кроме приведенных здесь результатов в работе, путем предельных переходов, получены уравнения частот для арок с различными сочетаниями жестких и упругих закреплений пят, а также балки с упругими опорами и двухшарнирной арки с затяжкой.

Как показали исследования, частоты симметричных колебаний арок с упругим защемлением пят зависят как от величины d_3 , так и от размеров замкового сечения и стрелы арки. Причем, при некоторых значениях δ , частота колебаний не зависит от величины упругой податливости защемления.

Необходимо отметить, что упругое защемление оказывает влияние на частоту как симметричных, так и кососимметричных колебаний. Особенно резко снижается частота при изменении коэффициента приведенной податливости d_3 в пределах от 0 до 1,5. Дальнейшее увеличение коэффициента податливости к значительным изменениям частот не приводят.

Таблица 3.

$\frac{4}{\delta + d_1} \backslash d_0$	0	0.01	0.10	1.00	∞
0	2.365	2.356	2.291	2.054	1.875
10	2.486	2.478	2.422	2.217	2.073
50	2.485	2.839	2.795	2.647	2.551
100	2.156	3.150	3.112	2.985	2.902
200	3.580	3.576	4.537	3.412	3.142
500	4.291	4.284	4.233	4.032	3.910
1000	4.814	4.800	4.691	4.359	4.190
∞	5.265	5.240	5.052	4.578	4.295

Как видно из табл. 3, где приводятся некоторые результаты решения уравнения (5) при $d_2 = 0$, упругий шарнир в замке при $0 \leq d_0 \leq 1.0$ резко снижает частоту симметричных колебаний. Дальнейшее увеличение приведенного коэффициента угловой податливости упругого шарнира значительных изменений в частотах не вызывает.

НТБ
ДНУЖТ

Вертикальная упругая податливость оказывает значительное влияние как на симметричные, так и на кососимметричные колебания.

В третьей главе рассматриваются свободные колебания параболических арок любой подъемистости.

Расчетная схема арки заменяется эквивалентной системой в виде вписанной в арку полигональной рамы с массами, сосредоточенными в узлах.

В основу расчета положено решение матричного уравнения динамических прогибов.

$$Y = L_u \left(-m \frac{d^2 Y}{dt^2} \right) \quad (8)$$

где Y —вектор радиальных перемещений,

L_u —матрица влияния прогибов, составленная из единичных прогибов и равная

$$L_u = \bar{M}_u^* B_1 \bar{M}_u$$

$\bar{M}_u$ и $\bar{M}_u^*$ —матрица моментов от единичных радиальных сил, приложенных к сосредоточенным массам, и транспонированная по отношению к ней матрица,

B_1 —якобиева матрица*.

Применение матрицы влияния прогибов позволяет использовать матричные уравнения для решения задач о колебаниях арок на упругих опорах.

При рассмотрении свободных колебаний предполагалось, что сосредоточенные массы могут перемещаться только по радиальному направлению. Это предположение накладывает дополнительные связи на эквивалентную систему, а следовательно повышает частоту колебаний. Чтобы избежать этого в расчет введен коэффициент приведенной жесткости k , уменьшающий изгибную жесткость эквивалентной системы за счет уменьшения моментов инерции.

Моменты инерции сечений эквивалентной системы определялись по формуле:

$$I_s = \frac{I}{k},$$

где I —момент инерции действительной арки.

Коэффициент приведенной жесткости определяется как отношение перемещения Δ (горизонтального при кососимметричных и вертикального при симметричных колебаниях) замка действительной арки от инерционных радиальных и тангенциальных сил к такому

* А. Ф. Смирнов. Статическая и динамическая устойчивость сооружений. Трансжелдориздат, 1958.

же перемещению Δ_3 замка эквивалентной системы от одних радиальных инерционных сил, т. е.

$$k = -\frac{\Delta}{\Delta_3}$$

В качестве радиальных инерционных сил принимаются фиктивные нагрузки, равные радиальным перемещениям сосредоточенных масс с учетом перемещений упругих опор, а тангенциальных инерционных сил — тангенциальные перемещения сосредоточенных масс.

Результаты исследования влияния коэффициента k на коэффициент частоты p свободных косимметричных колебаний двухшарнирной арки с отношением $f/l=0,5$ при различном количестве сосредоточенных масс приведены в табл. 4.

Таблица 4

Количество сосред. масс	1	2	3	4	5
p без учета k	14.8	14.3	14.3	13.1	14.2
p с учетом k	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8

Для этой же арки, но с учетом распределенной массы, коэффициент частоты p был подсчитан доц. Моргаевским* и составил 12,8.

Как видно из таблицы, коэффициент приведенной жесткости учитывает тангенциальные инерционные силы и количество сосредоточенных масс, принятых при расчете арки.

В реферируемой работе разработана методика определения коэффициентов приведенной жесткости с помощью матриц для различных сочетаний упругих и жестких опор.

Представив вектор перемещений Y в виде

$$Y = \begin{vmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{vmatrix} \sin(\theta t + \alpha)$$

из уравнения (8) получаем характеристическое уравнение

$$|C - \lambda \bar{E}| = 0, \quad C = L_u F, \quad \lambda = \frac{6EI}{m_0 s_0 \theta^2 k}$$

* А. Б. Моргаевский. Колебания параболических арок. Труды Днепропетровского металлургического института. Вып. 6, 1940.

здесь $\bar{F}$ — диагональная матрица с элементами $\frac{m_i}{m_0}$ (m_0 — произвольная масса), s_0 — длина оси арки между сосредоточенными массами, E — единичная матрица, θ — частота свободных колебаний (основной тон).

Используя для отыскания максимального характеристического числа $\lambda_{\max}$ двухсторонние оценки проф. Смирнова А. Ф.* частоты определяем по формуле

$$\theta = p \sqrt{\frac{EI}{m_0 l^3}}, \quad \text{где } p = \sqrt{\frac{6}{s_0^2 \lambda_{\max} k}}$$

Изложенный метод был использован для определения первых частот свободных колебаний подъемистых арок с опорами, имеющими упругие перемещения в вертикальном и горизонтальном направлениях. Некоторые результаты теоретических исследований приведены в таблице 5.

Анализ показывает, что для арок с $f/l \geq 0$ наличие вертикальной податливости в пяте не снижает, а незначительно повышает частоту. Это обстоятельство объясняется тем, что тангенциальные перемещения сечений арки, возникающие только от упругой осадки опоры, направлены в противоположную сторону тангенциальных перемещений, вызванных изгибом оси арки, и с увеличением подъемистости превосходят последние. Поэтому, инерционные силы от суммарных тангенциальных перемещений как бы разгружают арку и, следовательно, повышают частоту колебаний.

Это обстоятельство подтверждается опытами (см. табл. 5).

Анализ также показывает, что влияние горизонтальной податливости пят на первые частоты свободных колебаний подъемистых арок незначительно, и ею можно пренебречь.

В третьей главе исследован также вопрос о влиянии упругого защемления пят на первые две частоты и упругого шарнира в замке на вторую частоту свободных колебаний арки.

Исследования показали, что с увеличением подъемистости влияние коэффициента податливости упругого защемления на частоту колебаний уменьшается.

Четвертая глава посвящена вопросам экспериментального исследования свободных колебаний арок.

Опыты проводились в лабораторных условиях на стальных моделях гибких арок пролетом 2 м и 3 м, подъемистостью 0,1, 0,3 и 0,5 при различных схемах упругого закрепления пят моделей, как имеющих, так и не имеющих шарниры в замке.

* Смотри ссылку на стр. 3.

Таблица 5.

Подъемистость арки	Кососимметричные колебания												Симметричные колебания								
	Трехшарнирная арка												Упругое защемление								
	упругое защемление				вертикальная податливость				горизонтальная податливость				d_3	трехшарнирная арка			двухшарнирная арка				
	d_0	теор.	опыт	%	d_2	теор.	опыт	%	d_1	теор.	опыт	%		теор.	опыт	%	теор.	опыт	%		
0,1	0	54,7	54,2	5,6	0	57,4	54,2	5,6	0	39,4	34,9	11,4	0	68,2	68,0	0,3	104,8	102,3	2,4		
	0,55	42,1	39,9	5,2	0,010	34,2	34,2	0	0,014	39,4	34,9	11,4	0,55	54,5	54,2	0,6	88,9	84,7	4,7		
	1,21	39,2	36,2	7,6	0,045	27,5	26,2	4,7	0,048	39,4	34,2	13,0	1,21	52,4	51,6	1,5	84,7	81,8	3,3		
	∞	36,2	34,5	4,7	0,100	21,0	21,3	-1,4	0,063	39,4	33,7	14,5	∞	51,9	50,8	2,1	82,4	80,3	2,5		
0,3	0	65,0	61,5	5,4	0	39,5	38,1	3,3	0	39,5	38,1	3,5	0	92,2	93,2	-1,1	138,0	133,0	3,6		
	0,94	49,0	43,4	11,4	0,013	4,0	39,9	0,3	0,002	39,3	39,3	0	0,94	72,5	71,5	1,4	109,2	105,0	3,8		
	1,80	45,1	41,0	9,1	0,077	4,8	39,3	3,7	0,009	38,6	38,9	-0,8	1,80	69,6	68,7	1,3	105,5	102,4	2,9		
	∞	39,5	38,1	3,5	0,153	40,8	39,3	3,7	0,011	37,7	38,7	-2,6	∞	65,2	66,2	-1,6	103,9	98,6	5,1		

Примечание: Теоретические данные для арки с $f/l = 0,1$ имеющей горизонтальную податливость, определялись по формулам второй главы. В этой главе горизонтальные инерционные силы не учитывались, что и отразилось на процентах расхождения. Все остальные теоретические данные определялись по формулам третьей главы.

Упругость опор осуществлялась за счет включения в них цилиндрических пружин различной жесткости.

Для создания упругого защемления пяты модели были сконструированы специальные опоры, позволяющие изменять жесткость защемления от нуля до бесконечности.

Запись колебательных процессов производилась на пленку осциллографа МПО-2. Всего получено 66 различных осциллограмм.

Результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований сведены в таблицу 5. Как видно из табл. 5, все опыты показали хорошее совпадение результатов, полученных теоретическим и экспериментальным путями.

Вопросам вынужденных колебаний пологих параболических арок посвящена пятая глава.

В ней рассмотрены колебания, возникающие в результате воздействия на арку:

а) пульсирующей силы, приложенной в определенном сечении арки;

б) сосредоточенной силы, движущейся по арке с постоянной скоростью;

в) пульсирующей силы, движущейся по арке с постоянной скоростью.

В качестве исходного уравнения принято интегро-дифференциальное уравнение динамических моментов

$$M(x,t) = -m \int_{-l}^l H(x,s) \ddot{Y}(s,t) ds + H(x,\tau) P \cdot \cos \omega t \quad (9)$$

Используя разложение Мерсера* для функции влияния перемещений

$$G(x,s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_n(x) \varphi_n(s)}{H_n^2 \theta_n^2},$$

где $H_n = \sqrt{\int_{-l}^l m \varphi_n^2(s) ds}$ — норма с весом фундаментальных функций прогибов, и дифференциальную зависимость Журавского

$$\frac{\partial^2 G(x,s)}{\partial x^2} = -\frac{H(x,s)}{EI},$$

* С. Г. Михлин. Интегральные уравнения. ОГИЗ, 1947.

получим разложение для функции влияния изгибающих моментов

$$H(x,s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_n(x)\varphi_n(s)}{H_n^2 \theta_n^2} \quad (10)$$

Подставив (10) и (2) в (9) и принимая во внимание свойство ортонормированности фундаментальных функций

$$\int_{-l}^l \frac{m\varphi_n(s)\varphi_i(s)}{H_n H_i} ds = \begin{cases} 0 & \text{при } n \neq i \\ 1 & \text{при } n = i \end{cases}$$

находим

$$\ddot{T}(t) + \theta_n^2 T_n(t) = \frac{\varphi_n(\tau)}{H_n^2} P \cos \omega t \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

Получив решение этого уравнения, по формулам (2) найдем выражения для динамических изгибающих моментов в сечениях арки и динамических прогибов.

В реферируемой работе приводятся выражения динамических моментов для различных возмущающих сил и различных схем арок.

Анализ уравнений динамических моментов показывает, что максимальные моменты возникают при резонансных режимах, а именно:

а) для пульсирующих нагрузок при $\omega = \theta$

б) для движущихся сил при $V_{1кр} = \frac{\theta_n - \omega}{k_n}$, $V_{2кр} = \frac{\theta_n + \omega}{k_n}$

В заключение приводятся следующие выводы из работы:

1. При определении частот свободных симметричных колебаний пологих параболических арок с упругим защемлением пят можно

не учитывать упругого защемления при параметре $F = \frac{4}{\delta + d_1}$,

равном:

а) для бесшарнирной арки при первой симметричной форме колебаний $200 \leq F \leq 400$ и второй симметричной форме $2000 \leq F \leq 4000$,

б) для арки с шарниром в замке при первой симметричной форме $100 \leq F \leq 250$ и второй форме $1400 \leq F \leq 2400$.

2. Частоты свободных колебаний шарнирно-защемленных пологих арок можно определять по формулам для шарнирно-опертых арок, если приведенный коэффициент угловой податливости $\delta > 2,0$.

3. Для получения наиболее высокой частоты свободных колебаний следует стремиться к возможно более жесткому защемлению пят.

4. Неидеальность шарниров в пятах и замке арки мало сказывается на частоты колебаний.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

13
НТБ
ДНУЖТ

1451a

5. Наиболее чувствительными к упругому защемлению являются пологие арки.

6. Горизонтальную податливость надо учитывать только при определении частот симметричных колебаний.

7. Вертикальную податливость необходимо учитывать при определении частот симметричных колебаний всех арок и кососимметричных колебаний арок с $f/l < 0.3$

8. При симметричных колебаниях пологих арок, формы стоячих волн зависят от отношения f^2/i^2_z . При некоторых значениях этого отношения формы стоячих волн бесшарнирной и двухшарнирной арок совпадают. Такое же явление наблюдается для одношарнирной и трехшарнирной арок.

9. Качественная сторона вынужденных колебаний пологих параболических арок такая же, как и для балок.

* * *

Диссертация изложена на 164 страницах и содержит 58 рисунков и 23 таблицы. Библиография — 54 названия.

* * *

Основное содержание диссертации опубликовано в статьях автора:

1. Визначення згинаючих моментів при вільних коливаннях пологих параболических арок на пружних опорах. «Доповіді АН УРСР», № 6, 1959.

2. Свободные и вынужденные колебания весьма пологих параболических арок с упруго-смещающимися и поворачивающимися опорами. «Известия высших учебных заведений», отдел Строительство и архитектура, № 3, 1959.

3. Свободные колебания одношарнирных и трехшарнирных пологих параболических арок с упругими опорами. «Исследования по статике и динамике сооружений», научные труды ДМетИ, вып. 41, 1959.

4. О свободных колебаниях параболических арок. Там же.

1457/а

г. Днепропетровск, тип. металлургического института.

Подписано к печати 7.XII-1960 г. Выпуск 15.XII-60 г.

Объем 1 п. л. Заказ 2174. Тираж 170. БТ 18582.