

На правах рукописи

Инж. РОЗЕНБЕРГ Н. Г

45749
**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
КОНСОЛЬНЫХ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ
(Специальность № 05431 «Искусственные
сооружения на железнодорожном транспорте»).**

А в т с р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
(на русском языке)

Днепропетровск
1 9 7 1

На правах рукописи

Ииж. РОЗЕНБЕРГ Н. Г

4574₃
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
КОНСОЛЬНЫХ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ
(Специальность № 05431 «Искусственные
сооружения на железнодорожном транспорте»).

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
(на русском языке)

Днепропетровск
1 9 7 1

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **Бондарь Н. Г.**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Г. Л. Павленко**,
кандидат технических наук, доцент **Ю. А. Радзиховский**.

Ведущее предприятие — научно-исследовательский институт мостов при Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан

14

» ноября 1971 года.

Защита диссертации состоится «*16*» декабря 1971 года на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (гор. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2, ДИИТ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать свои отзывы о работе в двух экземплярах по адресу:

Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2, ДИИТ

Ученый секретарь Совета, доцент **Л. Н. ЛЕБЕДИНЕЦ**.

НТБ
ДНУЗТ

Решениями XXIV съезда партии по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—75 годы предусматривается увеличение грузооборота всех видов транспорта на 32—35 процентов.

В освоении выделяемых капиталовложений на развитие транспортного строительства в 1971—75 гг. значительное место занимает мостостроение.

Наряду со строительством мостовых переходов на новых железнодорожных линиях и автомагистралях общегосударственного значения мостостроителям в новой пятилетке предстоит выполнить большой объем работ по сооружению крупных городских мостов.

Успешное выполнение возросшего объема работ неразрывно связано с дальнейшим техническим прогрессом в строительстве и проектировании мостовых конструкций.

Эффективное использование средств по сооружению мостов в городах в районе крупных железнодорожных станций и портов с обеспечением нормального судоходства в устье больших рек во многом зависит от правильно принятых проектных решений. В этих условиях наиболее целесообразно применение разводных мостов, которые дают возможность наилучшим образом увязать требования, предъявляемые к судоходным габаритам, с подходами к мосту, не повышая отметок прилегающих улиц, станционных путей и портов.

По сравнению с другими системами разводных мостов наиболее приемлемыми для городского и автомобильного движения являются двукрылые раскрывающиеся (консольные) мосты. Эстетические преимущества, легкость перекрытия больших пролетов ставят их в выгодное положение в части обеспечения нормального судоходства и меньших эксплуатационных расходов.

Для уменьшения веса несущих конструкций разводных пролетных строений за последнее десятилетие проделана значительная работа как в области проектирования, так и в применении новых высокосортных материалов и современной техноло-

гии изготовления сварных соединений. Однако их работа в условиях воздействия динамических нагрузок почти не изучена.

Исследованию некоторых вопросов динамики разводных мостов с консольными пролетными строениями посвящено основное содержание диссертационной работы, которая состоит из введения, трех глав, выводов, приложений и списка литературы.

Во введении приведены некоторые сведения из истории строительства разводных мостов с раскрывающимися (консольными) пролетными строениями различных систем. Отмечены их преимущества по сравнению с другими разводными мостами. Сделан краткий обзор исследований по динамике и жест-

№№ мостов	Расчетный пролет м	Высота главных балок (ферм) м		Ширина проезжей части (м)	Рас автомобильная
		в замке	над опорой вращения		
1	21,80	0,55	1,70	7,5	Н-13
2	24,50	1,04	2,02	13,6	Н-13
3	24,50	1,04	2,02	7,0	Н-13
4	25,32	0,65	1,30	7,5	Н-13
5	26,50	0,62	1,55	13,0	Н-13
6	30,90	1,10	3,05	21,0	Н-13
7	33,80	1,25	2,60	10,5	Н-18
8	52,00	1,39	4,23	29,0	Н-18
9	77,80	2,20	14,76	7,5	Н-10

кости автодорожных и городских мостов в нашей стране и за рубежом. Поставлены также задачи исследований.

В первой главе рассмотрены методика и результаты экспериментальных исследований динамических характеристик, а также величин динамического воздействия подвижной нагрузки на консольные пролетные строения разводных мостов.

Экспериментальные исследования проведены на девяти разводных пролетных строениях городских мостов с диапазоном пролетов от 22 до 78 м. Краткая характеристика этих пролетных строений приведена в табл. 1. Все пролетные строения мостов №№ 1—8 двукрылые, раскрывающейся системы, а моста № 9 — поворотной системы с двумя несимметричными двухконсольными пролетами.

Таблица 1

четная нагрузка			Материал главных балок (ферм)	Нормы проекти- рования	Год пост- ройки
колес- ная	гусеничная	трамвай- ная			
—	—	T-13	Ст. 3М	Исм. XIX век	1905
—	НГ-60	T-13	M16C	ТУ II НП 1947	1960
—	НГ-60	—	M16C	ТУ II НП 1947	1957
—	—	T-13	Ст. 3М	Исм. XIX век	1902
—	—	—	Ст. 3М	ТУ 1943	1947
—	НГ-60	T 13	M16C	ТУ II НП 1947	1954
ПК-80	—	—	M16C	ТУ II НП 1947	1963
ПК-80	НГ-60	T-13	M16C	ТУ II НП 1947	1965
—	НГ-60	—	M16C и Ст. 2	ТУ II СН200-62	1967

В качестве испытательной нагрузки при динамических испытаниях использовались различные виды проходящего автомобильного транспорта, а для отдельных мостов — специально сформированные колонны груженых автомобилей. Испытания мостов проводились с применением современных электрических приборов и регистрирующей аппаратуры, позволяющих производить непрерывную запись деформаций и перемещений, вызванных подвижной нагрузкой.

При испытаниях измерялись прогибы главных балок (ферм) с верховой и низовой стороны моста в замке и в четвертях консольного пролета, вертикальные перемещения середины обеих главных ферм анкерного пролета, напряжения в поясах главных балок (ферм) опорного сечения и элементов решетки.

Вертикальные прогибы измерялись электрическими прогибомерами с динамометром и проволоочной связью, а напряжения в поясах главных балок — измерительными мостами сопротивления, собранными из проволоочных датчиков сопротивления.

В результате проведенных испытаний исследуемых мостов и обработки осциллограмм получены данные по динамической работе консольных пролетных строений разводных мостов. Некоторые из полученных данных приведены в табл. 2.

Из рассмотренных осциллограмм только в небольшом количестве опытов была установлена однотонная запись собственных колебаний без биений. В большинстве опытов получены осциллограммы процессов типа биений, что указывает на наложение двух близких по частоте форм колебаний одной вертикальной и одной крутильной. По замеренным амплитудам колебаний (замкового сечения и четвертей пролета), записанных на одной ленте осциллографа в один и тот же момент времени, устанавливались формы колебаний.

Экспериментальные значения динамического коэффициента определялись по осциллограммам прогибов в середине и четвертях главных балок пролетных строений, а в отдельных случаях и по осциллограммам напряжений в опорных сечениях главных балок.

В ряде опытов для отдельных скоростей движения временной нагрузки наблюдается некоторое превышение (не более 15 проц.) динамической добавки по напряжениям над полученной по прогибам.

Таблица 2

№№ мостов	Расчетный пролет м	Опытные значения характеристик собственных колебаний пролетных строений			Динамические коэффициенты (1 μ)	
		Частоты вертикаль- ных колебаний в гц	Частоты крутильных колебаний в гц	Декременты вертикальных колебаний	от проходящей нагрузки	расчетные по СН-200-62
1	21,80	5,04	5,35	0,190	1,250	1,254
2	24,50	5,50	6,70	0,170	1,247	1,241
3	24,50	4,45	5,55	0,180	1,222	1,241
4	25,32	5,00	6,25	0,173	1,270	1,240
5	26,50	3,60	4,30	0,183	1,287	1,235
6	30,90	3,30	3,72	0,118	1,242	1,220
7	33,80	3,28	3,90	0,171	1,235	1,210
8	52,00	2,00	2,60	0,174	1,220	1,168
9	77,80	2,26	2,70	1,172	1,205	1,131

Максимальные значения динамических коэффициентов (табл. 2) получены от проходящих эксплуатационных нагрузок, составляющих в среднем 12—32 проц. от расчетных.

Анализ записанных осциллограмм показал, что при реальных скоростях движения нагрузки 20—30 км. в час происходит существенное увеличение амплитуд вынужденных колебаний, т. е. наблюдаются резонансные явления.

Во второй главе приведены исследования частот собственных вертикальных и крутильных колебаний, а также их оценка по приближенным формулам.

Расчетная схема исследуемых мостов в наведенном положении представляет собой пролетное строение, состоящее из двух одноконсольных балок, соединенных между собой в замке шарниром.

Конструктивные особенности разводных мостов, переменность жесткости и массы по длине пролета, наличие большой сосредоточенной массы противовеса значительно усложняют решение задачи определения частот точными методами. Поэтому наиболее приемлемым в данном случае оказывается приближенный энергетический метод.

При исследовании первых двух форм колебаний (в силу их симметричности и кососимметричности) расчетная схема разделена на две независимые динамически-эквивалентные системы.

В соответствии с энергетическим методом в качестве форм колебаний принимаются упругие линии эквивалентных систем при загрузении собственным весом. Для определения ординат упругих линий эквивалентных систем применяется способ упругих грузов. В этом случае распределенную массу моста целесообразно сосредоточить в конечном числе точек по правилу рычага. При нахождении величины упругих грузов жесткость на каждом участке осредняется.

Вычисления частот собственных колебаний производились вручную при небольшом количестве участков и с помощью ЭЦВМ «Урал-3» при весьма большом количестве участков. Сравнение этих результатов позволило установить минимальное количество участков при ручном счете.

Предлагаемая методика была использована для вычисления первых двух частот собственных вертикальных колебаний и проверялась сравнением расчетной первой частоты колебаний с экспериментальными данными. Это сравнение приведено в таблице 3 и подтверждает приемлемость принятого метода расчета.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая приближенная формула первой частоты собственных вертикальных колебаний консольных разводных мостов

$$\frac{0,6}{l_1^2} \sqrt{\frac{EJ_{\text{ср.}}}{m_{\text{ср.}}}} \quad (1)$$

где $EJ_{\text{ср}}$ и $m_{\text{ср}}$ — средние значения соответственно жесткости и погонной массы консольного пролета; l_1 — расчетная длина консоли. Кроме того, получены зависимости первых двух частот собственных вертикальных колебаний от расчетной длины консоли в пределах $10 \leq l_1 \leq 39$ м

$$\begin{aligned} &= 0,54 l_1 (16 - 10^{-3} l_1 - 1) - 10; \\ &2,4 l_1 (16 - 10^{-3} l_1 - 1) - 42. \end{aligned} \quad (2)$$

Результаты подсчета первой частоты колебаний γ_1 по формулам (1) и (2) и сравнение их с экспериментальными данными помещены в табл. 3.

Для определения частот основного тона собственных крутильных колебаний в качестве расчетной принимается система, состоящая из абсолютно жесткой балки, опирающейся на упругие опоры, имитирующие податливость несущих конструкций в вертикальной плоскости.

Такая система полностью характеризует пространственное движение середины пролетного строения по основному тону пространственных колебаний, состоящих из вертикального и вращательного перемещений. Горизонтальным перемещением пренебрегали ввиду большой жесткости в горизонтальной плоскости.

Очевидно, что вертикальные перемещения принятой расчетной системы соответствуют первой форме собственных вертикальных колебаний, а вращательные — крутильным колебаниям пролетного строения.

№№ мостов	Расчет- ный про- лет консо- ли в м	Первые частоты			
		в е р т и			
		опытные значения	р а с ч е т		
			энергет. методом	разн. в проц.	по фор- муле (1)

1	10,90	5,04	4,50	—11	4,03
2	12,25	5,50	4,55	—17	4,35
3	12,25	4,45	4,70	-1- 6	4,40
4	12,66	5,00	5,30	-1- 6	5,80
5	13,25	3,60	3,10	—14	3,05
6	15,45	3,30	3,52	7	3,58
7	16,90	3,28	3,65	+11	3,20
8	26,00	2,00	2,00	0	1,75
9	38,90	2,26	2,06	—09	2,01

В силу симметрии системы относительно центра тяжести обе формы собственных колебаний являются главными, т. е. их уравнения движения имеют вид:

для вертикальных колебаний

$$M_{\text{пр.}} \ddot{y} + k_{\text{пр.}} y = 0;$$

для крутильных колебаний

$$J_{\text{пр.}} \ddot{\varphi} + C \cdot \varphi = 0,$$

где обозначено: y — вертикальное перемещение замкового сечения; $M_{\text{пр.}}$ — приведенная к замковому сечению масса половины пролетного строения; $k_{\text{пр.}}$ — приведенная изгибная жесткость пролетного строения в наведенном положении; $J_{\text{пр.}}$ — приведенный момент инерции масс относительно оси вращения; C — приведенная к замковому сечению жесткость пролетного строения при кручении; φ — угол поворота.

Таблица 3

собственных колебаний в гц					
кальпые			крутильные		
ные			опытные значения	расчетные	
разн. проц.	по фор- муле (2)	разн. проц.		по фор- муле (3)	разн. проц.
-20	5,12	+ 2	5,35	5,55	+ 4
-21	4,68	-15	6,70	5,60	-16
- 1	4,68	+ 5	5,55	5,76	+ 4
+16	4,56	- 9	6,25	6,50	+ 4
-15	4,25	+18	4,30	3,87	-10
+ 8	3,69	+12	3,72	4,35	+17
- 3	3,30	+ 1	3,90	4,50	+15
-18	1,80	-10	2,60	2,55	- 2
-11	2,02	-11	2,70	2,63	- 3

Выражения для изгибной и крутильной жесткостей имеют вид

$$K_{кр.} = \gamma_1^2 M_{кр.};$$

$$C = 2 K_{кр.} \left(\frac{b}{2} \right)^2$$

Здесь b — расстояние между упругими опорами рассматриваемой системы.

Приведенный момент инерции масс вычисляется по формуле

$$J_{кр.} = \sum_1^n m_{(i)кр.} r_i^2$$

где $m_{(i)кр.}$ — приведенные к замковому сечению массы отдельных элементов поперечного сечения; r_i — расстояния от центра тяжести до центров масс элементов.

№№ мостов	Расчет- ный про- лет консо- ли в м	Первые частоты			
		в е р т и			
		р а с ч е т			
		опытные значения	энергет. методом	разн. в проц.	по фор- муле (1)

1	10,90	5,04	4,50	—11	4,03
2	12,25	5,50	4,55	—17	4,35
3	12,25	4,45	4,70	+ 6	4,40
4	12,66	5,00	5,30	+ 6	5,80
5	13,25	3,60	3,10	—14	3,05
6	15,45	3,30	3,52	7	3,58
7	16,90	3,28	3,65	+ 11	3,20
8	26,00	2,00	2,00	0	1,75
9	38,90	2,26	2,06	—09	2,01

В силу симметрии системы относительно центра тяжести обе формы собственных колебаний являются главными, т. е. их уравнения движения имеют вид:

для вертикальных колебаний

$$M_{\text{пр.}} \ddot{y} + k_{\text{пр.}} y = 0;$$

для крутильных колебаний

$$J_{\text{пр.}} \ddot{\varphi} + C \cdot \varphi = 0,$$

где обозначено: y — вертикальное перемещение замкового сечения; $M_{\text{пр.}}$ — приведенная к замковому сечению масса половины пролетного строения; $k_{\text{пр.}}$ — приведенная изгибная жесткость пролетного строения в наведенном положении; $J_{\text{пр.}}$ — приведенный момент инерции масс относительно оси вращения; C — приведенная к замковому сечению жесткость пролетного строения при кручении; φ — угол поворота.

собственных колебаний в гц

ка л ь п ы е			крутильные		
н ы е			опытные значения	расчетные	
разн. проц.	по фор- муле (2)	разн. проц.		по фор- муле (3)	разн. проц.
-20	5,12	+ 2	5,35	5,55	+ 4
-21	4,68	-15	6,70	5,60	-16
- 1	4,68	+ 5	5,55	5,76	+ 4
+16	4,56	- 9	6,25	6,50	+ 4
-15	4,25	+18	4,30	3,87	-10
+ 8	3,69	+12	3,72	4,35	+17
- 3	3,30	+ 1	3,90	4,50	+15
-18	1,80	-10	2,60	2,55	- 2
-11	2,02	-11	2,70	2,63	- 3

Выражения для изгибной и крутильной жесткостей имеют вид

$$K_{кр.} = \gamma_1^2 M_{кр.};$$

$$C = 2 K_{кр.} \left(\frac{b}{2} \right)^2$$

Здесь b — расстояние между упругими опорами рассматриваемой системы.

Приведенный момент инерции масс вычисляется по формуле

$$J_{кр.} = \sum_1^n m_{(i)кр.} r_i^2$$

где $m_{(i)кр.}$ — приведенные к замковому сечению массы отдельных элементов поперечного сечения; r_i — расстояния от центра тяжести до центров масс элементов.

Первая частота крутильных колебаний может быть определена по формуле

$$\gamma_{1к} = \frac{C}{J_{пр.}} \cdot \frac{2 \gamma_2^2 M_{пр.} \left(\frac{B}{2} \right)^2}{\sum_{i=1}^n m_{(i)пр.} \gamma_i^2}$$

Вычисленные по этой формуле первые частоты крутильных колебаний составляют $\gamma_{1к} (1,12 \text{ } 1,43) \gamma_1$

Для приближенного определения первой частоты крутильных колебаний может быть предложена формула, полученная в результате статистической обработки опытных данных методом наименьших квадратов

$$\gamma_{1к} = 1,20 \gamma_1 \quad (3)$$

которая хорошо согласуется с аналитическими результатами.

Приведенные в табл. 3 сравнения частот крутильных колебаний, полученных по формуле (3), с опытными значениями указывают на то, что предлагаемая методика определения частот крутильных колебаний хорошо подтверждается экспериментом.

В третьей главе рассматриваются вопросы динамического воздействия подвижной автомобильной нагрузки на консольные разводные мосты с различными конструктивными особенностями пролетных строений, проезжей части и ездового полотна. В результате проведенных динамических испытаний получены опытные значения динамических коэффициентов $1 + \mu$ от воздействия распространенных видов подвижной автонагрузки при различных скоростях движения.

В силу ряда факторов, придающих случайный характер, зависимость между опытными значениями динамического коэффициента и скоростью движения нагрузки оказалась не функциональной, а корреляционной, т. е. каждому значению скорости соответствует не одно, а несколько значений $1 + \mu$. При такой зависимости полученные наибольшие опытные значения $1 + \mu$ не являются максимально возможными.

Для определения максимальных возможных значений динамического коэффициента произведена обработка опытных данных при помощи известных методов математической статистики.

При статистической обработке опытные значения $1 + \mu$ группировались в разряды по скоростям, и каждый разряд рассматривался как независимая выборка случайных величин. Для этих разрядов на ЭЦВМ «Промінь» произведен подсчет основных числовых характеристик распределения: центра распределения, дисперсии, асимметрии и эксцесса. По числовым характеристикам определялся закон распределения случайных величин в выборках.

В результате статистической обработки получены доверительные границы математического ожидания и верхней доверительной границы $1 + \mu$ при вероятности $P=0,99$.

В связи с тем, что при динамических испытаниях исследуемых мостов интенсивность подвижной нагрузки составляла в среднем 12—32% от расчетной, полученные опытные значения динамического коэффициента и их доверительные границы должны быть скорректированы для расчетных нагрузок. Для этого проведено исследование зависимости динамической добавки от интенсивности нагрузок, использованных при испытаниях мостов. Установлена следующая зависимость динамических добавок от расчетной μ_p и испытательной нагрузок

$$\mu_p \quad \quad \mu_i$$

где

$$k_i = \frac{n_i}{0,87 n_i - 13}$$

при

$$10 < n_i < 100.$$

Здесь n_i — интенсивность испытательной нагрузки, выраженная в процентах от расчетной.

Расчетное значение динамического коэффициента можно получить по формуле

$$1 + \mu_p = 1 + k_i \mu_i \quad (4)$$

Верхние доверительные границы $1 + \mu$ полученные с учетом формулы (4), позволили установить величину динамиче-

ского коэффициента для исследуемых пролетных строений в следующем виде:

$$1 \quad 1 \quad \frac{13}{37,5 \quad \lambda} \quad (5)$$

где λ — длина загрузки линии влияния в м, которую следует принимать

а) $\lambda = 2l_1$ при $\lambda \geq 2l_1$;

б) $\lambda = 2l_1 - l_2$ при $\lambda < 2l_1$.

Здесь $2l_1$ и l_2 — соответственно расчетная длина разводного и анкерного пролетов в метрах.

Наибольшие ожидаемые значения динамического коэффициента (при вероятности $P=0,99$) для исследуемых пролетных строений помещены в табл. 4. Там же приведены расчетные значения по формулам (5) и СН200—62.

Таблица 4

№. № мостов	Длина загрузки	Среднее значение испытательной нагрузки в проц. к расчетной	Верхние доверительные границы I при $P=0,99$		Расчетные значения I	
			от испытательной нагрузки	приведенные к расчетной нагрузке	по формуле (5)	по СН200-62
1	21,80	25	1,313	1,220	1,220	1,251
2	24,50	26	1,270	1,194	1,210	1,211
3	24,50	32	1,242	1,193	1,210	1,241
4	25,32	27	1,279	1,202	1,207	1,240
	26,50	20	1,303	1,197	1,203	1,235
6	30,90	26	1,261	1,183	1,190	1,220
7	33,80	23	1,253	1,177	1,183	1,210
8	52,00	15	1,232	1,135	1,145	1,168
9	77,80	12	1,235	1,117	1,113	1,131

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что расчетные значения динамического коэффициента по формуле (5) лучше согласуются с опытными, чем значения по СН 200—62.

ВЫВОДЫ

Разводные мосты являются сложными динамическими системами с неравномерно распределенными параметрами, что сильно отличает их от обычных балочных конструкций. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы о динамической работе исследуемых мостов:

1. Получены экспериментальные значения частот низших форм вертикальных и крутильных колебаний. При этом выявлена близость значений частот первой вертикальной и крутильной формы колебаний.

Для большинства исследуемых мостов периоды собственных вертикальных колебаний находятся в границах 0,3—0,7 сек., не допускаемых техническими условиями СН 200—62. Однако, как показал опыт эксплуатации и настоящие исследования, динамическая работа этих мостов не вызывает опасных явлений и не ведет к расстройству. Следовательно, ограничения норм СН 200—62 по периодам колебаний не согласуются с действительной работой консольных разводных мостов и, видимо, являются излишними.

2. При движении нагрузок по мостам со скоростями 20—30 км/час наблюдаются резонансные явления по частотам низших вертикальных или крутильных колебаний. Большой объем экспериментальных исследований позволил произвести статистический анализ полученных при этом динамических коэффициентов. Установлена зависимость динамической добавки от интенсивности испытательной нагрузки. Показано, что с ростом нагрузок величина динамической добавки уменьшается.

3. Получены рабочие формулы для определения низших частот вертикальных и крутильных свободных колебаний. Эти формулы дают аналитические значения частот, хорошо подтверждаемые экспериментами.

Для практических расчетов по определению первой частоты собственных вертикальных колебаний могут быть рекомендованы простые формулы (1) и (2).

4. Для оценки динамического воздействия подвижной нагрузки на пролетные строения консольных разводных мостов рекомендуется формула (5). Динамические коэффициенты по формуле (5) имеют несколько заниженные значения по сравнению с 1 по формуле СН 200—62, которая применялась при проектировании мостов и ранее (до 1962 года)

5. Построенные по ранее действовавшим нормам разводные мосты имеют некоторый резерв грузоподъемности, который может быть использован при повышении класса обращающихся нагрузок.

Основное содержание диссертации опубликовано в статьях:

1. Розенберг Н. Г., Хохлов А. А., Шмит Г. Я. Некоторые результаты испытаний пролетных строений разводных мостов. Труды ДИИТа, вып. 89, 1969.
2. Розенберг Н. Г. Свободные колебания двукрытых раскрывающихся мостов. Труды ДИИТа, вып. 110, 1970.
3. Розенберг Н. Г., Кругман Г. Э. Реконструкция большого разводного моста с поворотными пролетными строениями. «Транспортное строительство», № 2, 1969.

По основным разделам диссертации были сделаны доклады на кафедре строительства дорог, мостов и аэродромов Рижского политехнического института в сентябре 1971 года и в полном объеме на кафедре мостов Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта в октябре 1971 года и на кафедре строительной механики Днепропетровского металлургического института.