

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕМЕННОЙ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

DOI: 10.18572/2686-8598-2022-4-1-4-19

ББК:39.112.2-044-022.84

УДК: 624.21.072.042.8

Картопольцев Владимир Михайлович
доктор техн. наук, профессор, Действительный член МАН ВШ

Картопольцев Андрей Владимирович
канд. техн. наук, доцент
ООО «ДИАМОС», 634003, Россия, г. Томск, пер. Соляной, 24/1
diamos@mail.ru, тел. +79138292058

Аннотация: Известно, что неотрегулированная конструкция уподобляется ненастроенному музыкальному инструменту [7]. Отрегулированное динамическое напряженно-деформированное состояние пролетных строений мостов будет адекватно параметрам проектного и эксплуатационного состояния в результате внедрения регулирования и управления колебаниями в условиях изменяющегося воздействия временной подвижной нагрузки.

Особо внимательно рассмотрены методы регулирования динамических характеристик изменением частоты собственных колебаний системы с учетом рассеяния энергии, а также внедрению в колебательный процесс трансформированного вида интенсивных колебаний в процессе искусственного или избирательного резонанса, при которых колебания системы либо затухают, либо перестают быть опасными.

Акцентируется внимание на влиянии дефектности проезжей части при увеличении массы и скорости временной подвижной нагрузки. С этой целью разработан классификатор дефектов мостового полотна для уточнения границы влияния дефекта на динамическую работу сооружения [1, 3].

Анализ структурного содержания и критериев определения $(1 + \mu_g)$ показывает недостаточность компонент, оценивающих влияние временной подвижной нагрузки на пролетное строение в условиях нестационарных колебаний, а также выявляются противоречия в оценке динамической добавки μ_g .

Практическое использование результатов исследований целесообразно Министерством транспортного строительства при реализации государственных национальных программ и проектов совершенствования

конструкций, методов расчета, проектирования и эксплуатации мостовых сооружений.

Ключевые слова: мост, регулирование динамических характеристик, колебания, система, дефекты, диссипация.

ВВЕДЕНИЕ

Мотивированным обоснованием общемировой проблемы повышения моральной и физической долговечности конструкций мостовых сооружений на стадиях проектирования и эксплуатации является своевременное внедрение, наряду с регулированием напряжения при статическом нагружении, регулирование динамических характеристик пролетных строений мостов с учетом перспективного изменения воздействия временной подвижной нагрузки (рис. 1).

В рамках реализации тематики регулирования характеристик при статической и динамической нагрузках мостовых конструкций на основе результатов уникальных натурных экспериментов на мостах с альтернативным уклоном проектирования реализуется ряд оптимизационных задачи модернизации вибродиагностики мостов (рис. 2).

Несмотря на обширный объем экспериментальных работ в нашей стране и за рубежом отмечается полное отсутствие вибродиагностики на действие случайного транспортного потока [4]. Сопоставление виброграмм испытания моделей металлических мостов и реальных пролетных строений при движении группы разнотипных транспортных средств указывает на их уникальное отличие от подобных виброграмм

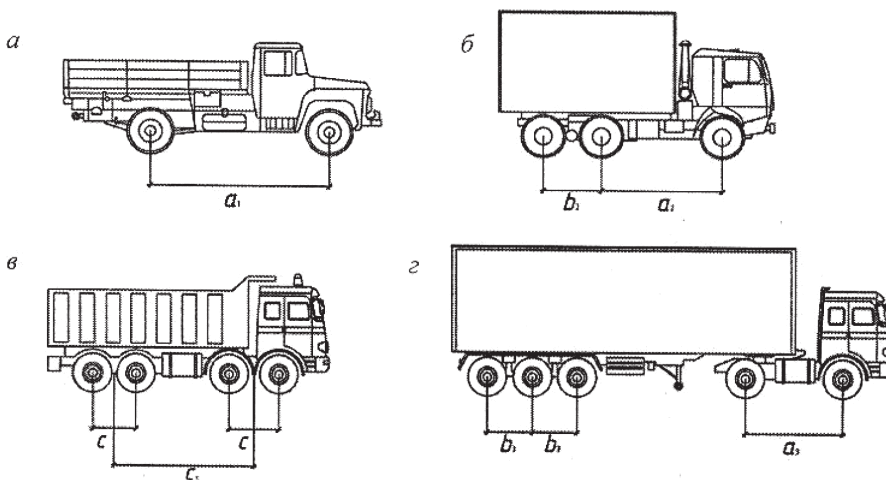


Рис. 1. Эволюция в развитии транспортных средств:

а — двухосный автомобиль; б — трехосный автомобиль;

в — четырехосный автомобиль типа Ново; г — тяжелый автофургон



Рис. 2. Модернизированная блок-схема оптимизации вибродиагностики мостов

традиционных испытаний на одиночную нагрузку (рис. 3). Корреляционно-спектральный анализ амплитудно-частотных характеристик колебаний (выборка 27–29, см. рис. 3,б–в) с доверительным интервалом $\pm 0,1$ Гц показал, что общий фон колебательного процесса при воздействии случайного транспортного потока зависит от количества дефектов на проезжей части, их размеров, в соответствии с классификатором дефектов. Нормативные и правовые документы вибродинамических испытаний мостов во всех странах мира не учитывают освещенных в статье факторов стадии напряженности и деформирования, дефекты, демпфирование, предрезонансные и резонансные состояния при критических скоростях. Таким образом, реализация методологической концепции регулирования динамических характеристик, вибродиагностики мостов на действие случайного потока транспорта с учетом вышеизложенных факторов в рамках использования мобильных автоматизированных комплексов расширяет сферу практической применимости.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В работах Р. Сняды, Р. Иванкевича, Фуйино Йозо, Б. Бхартина, М. Ито, Д. Дж. Германа, М. Славика, О. Конора, М. Эссе, Р.В. Притчарда, Д. Пэйджа, П.П. Ефимова, Л.А. Закора, Х. Хидсуки, Ж. Паламана, В.Л. Шайкевича,

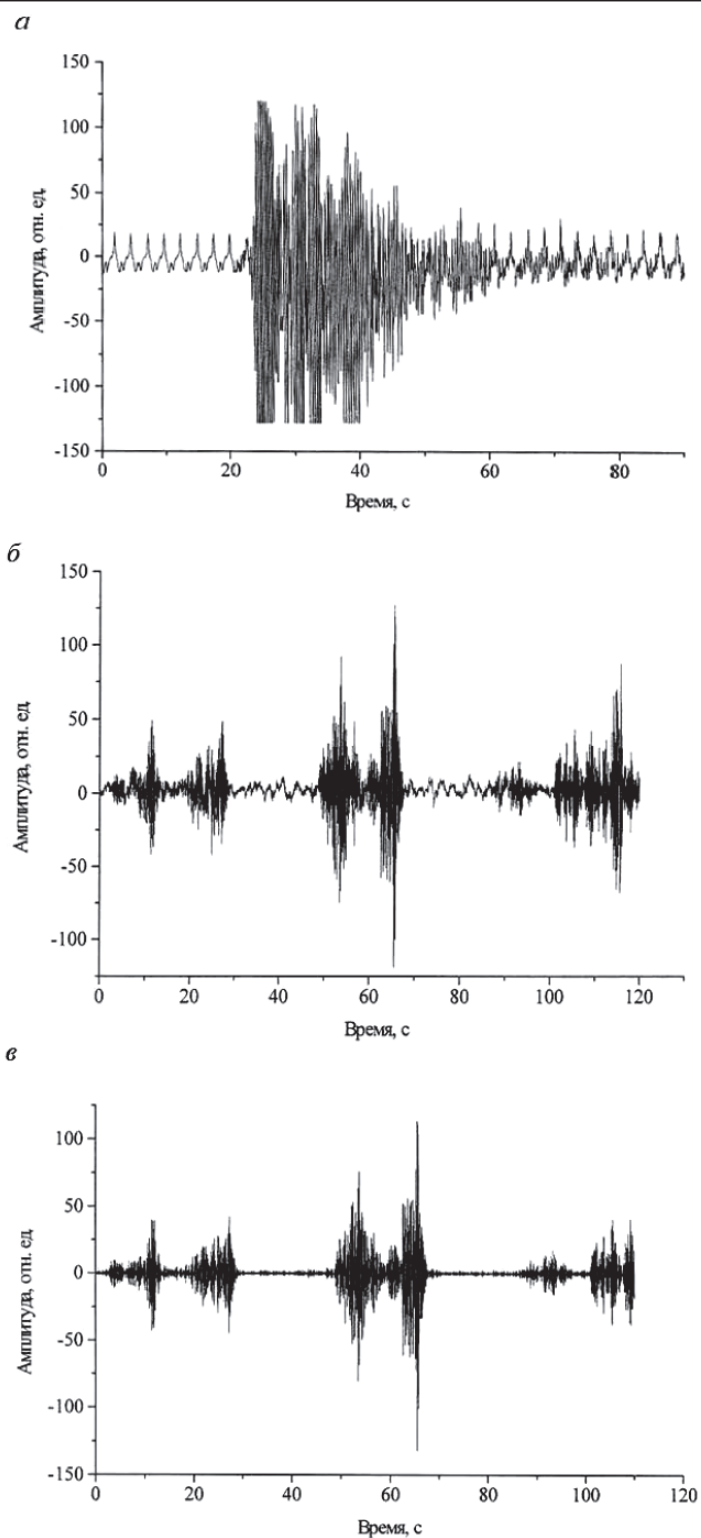


Рис. 3. а — виброграмма от одиночного автомобиля; б — исходная виброграмма от движения группы разнотипных транспортных средств; в — исходная виброграмма после фильтрации

С.А. Шабанова, Ю.П. Федорова, Ю. Фойгта, В.М. Мучникова, Л. Фрыбы, И.К. Цыпинас, А.Б. Моргаевского отражены попытки моделирования колебательного процесса при испытании мостов одиночными транспортными средствами.

Впервые Хонда Хидеуки подверг спектральному анализу колебательный процесс с учетом влияния шероховатостей проезжей части наиболее распространенных четырех категорий мостов. Однако в теоретическом обосновании спектра колебаний рассматривается балка с подвешенным грузом, что несопоставимо с реальной ситуацией.

Теоретически задачи сводились к воздействию равномерно-распределенной движущейся массы, выраженной в упрощенном виде демпфированной гармонической функцией. Используя численные методы Адамса–Штермера в работах Г.Ф. Кравченко, И.А. Колесника, В. Г. Яцура, Клаф, Дж. Пензиена и др. предпринята попытка представить движущийся поток подвижной нагрузки в виде упруго-связанных грузов с определенной скоростью, не являющейся критической. Выводы, что наибольший динамический эффект в этом случае наибольший в момент схода нагрузки с балки, являются неправомерными.

Отдельную проблему, связанную с участием ускорения системы в общем колебательном процессе высказали А. Шалленкампа, С.Е. Инглис, Р.Эри, Дж. Форд, Л. Якобсон, К. Исай, А.Б. Моргаевский, Дж. Лекаря, Ф. Вильсон, Л. Мондера, А.П. Филиппов, Т. Ямасаки, Т. Сакияма.

Перспективное развитие направления Шалленкампа–Инглиса нашло отражение в решении дифференциальных уравнений Инглиса–Болотина для балок пролетных строений с различными краевыми условиями закрепления, произвольной массой и комбинацией нагрузок. Несмотря на концептуальную идентичность предложения Шалленкампа–Инглиса и Инглиса–Болотина расхождения выразились в методике определения критической скорости ($V_{кр}$), при которой происходит приближение к резонансу.

В процессе экспериментальных работ авторами использовались вибродатчики базисного и безбазисного типа. Неточность измерений за счет погрешности связанной с инерционностью механизма послужило «загрублению» при обработке виброграмм для получения линейных амплитудно-частотных характеристик.

Проведенные авторами статьи за последние 20 лет работы по совершенствованию вибродиагностического оборудования лишенного недостатков приборного обеспечения предыдущих лет создан аппаратно-программный виброизмерительный комплект на основе безбазисных низкочастотных пьезоэлектрических вибродатчиков, обладающий свойством выделять электрические заряды на гранях пьезоэлемента под влиянием механических усилий, которому уступают малоинформативные и технически несовершенные средства виброизмерений [5]. Программное оснащение

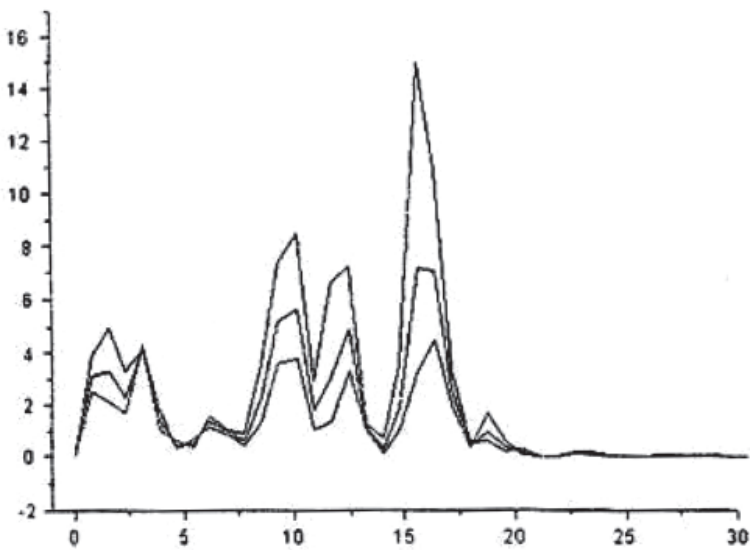


Рис. 4. Спектр частот свободных и вынужденных колебаний

виброкомплекта разработано для спектральной обработки виброграмм на основе анализа многоканальной системы. Датчики виброкомплекта в процессе динамических испытаний моста функционируют в режиме виброскорости и политональных колебаний. Многофункциональность виброкомплекта при скоростях испытания временной нагрузкой от 20 до 100 км/час характеризуется погрешностью 1–2% при оценке амплитудно-частотных характеристик. В качестве примера представлен общий вид спектра частот колебаний пролетного строения при испытании временной нагрузкой (рис. 4).

Таким образом, наличие современного высокоэффективного оборудования для регистрации реального колебательного процесса в пролетных строениях мостов позволяет решить проблему регулирования динамических характеристик мостов.

Для стальных и сталежелезобетонных пролетных строений в зависимости от уровня и вида напряженно-деформированного состояния условие эксплуатационной прочности наряду с учетом инерционности масс системы «пролетное строение + автомобиль» представляется в виде:

$$\alpha(P_n + P_{вр})(1 + \mu_d) \leq m \cdot A \cdot \delta_i, (1)$$

где α — коэффициент перехода от нагрузки к усилиям; m — коэффициент условия работы; δ_i — расчетное сопротивление материала (стали) балки; $\delta_i = R_n$ — упругая работа; $\delta_i > R_n$ — упругопластическая работа; A — характеристика жесткости сечения балки пролетного строения; μ_d — динамическая добавка, характеризующая инерционность масс системы; $P_n, P_{вр}$ — постоянная и временная нагрузки.

Из выражения (1) определим μ_d в виде:

$$\mu_d = \frac{\frac{P_{\Pi}}{g} \cdot A \cdot \delta_i - \alpha \cdot (P_{\Pi} + P_{\text{впр}})}{\alpha \cdot (P_{\Pi} + P_{\text{впр}})}, \quad (2)$$

где: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Таким образом, инерционность масс механической системы не зависит от нагруженности и предельного значения напряжений. Показателем энергоемкости колебательного процесса системы является:

$$\mu = \frac{p^2}{p^2 - w^2} - 1. \quad (3)$$

Экспериментальные динамические исследования, проведенные на крупногабаритных моделях и реальных мостовых объектах без учета каких-либо дефектов проезжей части показали, что динамический коэффициент подсчитанный на основе механической модели не превышает 1,25 и меньше аналогичного коэффициента на основе энергетической модели на 30% [5]. Экспериментальные исследования с учетом дефектов проезжей части показали максимальную величину динамического коэффициента механической модели подсчета, равной 1,49, тогда как энергетическая модель определения динамического коэффициента $\gg 1$, тем самым реально характеризуется колебательный процесс с учетом инерционности масс системы [6]. Приведенные данные способствуют пересмотру величины реальной критической скорости движения подвижной нагрузки с учетом дефектов мостового сооружения, являющейся регулятором динамических характеристик с учетом проявления различного вида демпфирования и резонансных явлений.

Максимальное проявление инерционности масс системы состоит в изменении динамических показателей напряженно-деформированного состояния конструкции пролётных строений стальных и сталежелезобетонных мостов в зависимости от упругого и упругопластического, а именно:

$$\left. \begin{aligned} M_{\max} &= M_g^{\Pi} \cdot \mu_d + M_{\text{пост}} \\ Y_{\max} &= Y_g^{\Pi} \cdot \mu_d + Y_{\text{пост}} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где M_g^{Π} , Y_g^{Π} — изгибающий момент и прогиб балки от действия системы интенсивности; g ; $M_{\text{пост}}$, $Y_{\text{пост}}$ — изгибающий момент и прогиб балки от постоянной нагрузки $g_{\text{пост}}$.

Формирование предельного состояния стальных конструкций мостов и процесса регулирования динамических характеристик основаны на взаимодействии между собой ряда показателей из выражения[2]:

$$\frac{m_0 \cdot y(x, t)}{dt^2} + EJ \left(1 + \nu_0 \frac{d}{dt} \right) \frac{d^4 y(x, t)}{dt^4} = \sum_1^n R_i \cdot f(V, t); \quad (5)$$

где $y(x, t) = C_1 \cdot \cos wt + C_2 \sin wt + w \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot \sin w(t_1 - t_2)$; C_1 , C_2 — параметры дефектов проезжей части; R_i — параметр динамического воздей-

ствия; ν_0 – коэффициент диссипации колебания; EJ – изгибная жесткость балки пролетного строения; m_0 – погонная масса балки; t – время движения временной нагрузки по пролетному строению; t_1, t_2 – время въезда и съезда с дефекта на проезжей части; V – скорость движения транспорта по проезжей части моста.

Известно, что коэффициент затухания колебаний в составе функции критической скорости является главным аргументом, регулирующим динамические характеристики и формирующим условия возможного резонансного состояния. Будем рассматривать пролетные строения мостов, длина которых (L) намного больше базы автомобиля (ℓ_0), т.е. $\ell_0 \ll L$. Тогда формула критической скорости имеет вид:

$$V_{кр} = \frac{w_i \cdot L}{\pi \sqrt{1 + 2\mu_d}}. \quad (6)$$

В свою очередь

$$w_i = K_i \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{EJ}{(m + m_0)L^2}}, \quad (7)$$

где W_i – частота вынужденных колебаний системы; m – погонная масса временной подвижной нагрузки; K_i – коэффициент предрезонансного и резонансного состояния пролетного строения моста, характеризующий динамическую неустойчивость колебания.

В пределах области динамической неустойчивости K_i характеризует состояние, когда частота вынужденных колебаний (W_i) стремится к частоте собственных колебаний системы (p) и амплитуда вынужденных колебаний (A) возрастает.

Для внутренних резонансов в упругом и упругопластическом состоянии балок пролетных строений K_i приравнивается к показателю «расстройки частот» — ε_s , которое мало, по сравнению с p . Тогда состояние классического резонанса определяется выражением:

$$\left. \begin{aligned} w = p, p_s = \mp \mu \cdot \varepsilon_s, \quad S = 1, 2, 3 \dots \\ p - \mu_d \cdot \varepsilon_s < w < p + \mu_d \cdot \varepsilon_s \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Таким образом динамические характеристики до резонанса рассматриваются как критические, отличающиеся от аналогичных отрегулированных характеристик в процессе резонанса и дальнейшие их корректировка с помощью параметра сопротивления резонанса (hs) и динамической устойчивости системы к резонансу (k_p) в границах, ограниченных мультипликаторами (ρ^0) представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} hs &> \frac{1}{w^2} \cdot [q_{вр} - 4(w \cdot \varepsilon_s)^2] \\ k_p &\Rightarrow f(hs, \varepsilon_s) \\ \rho^0 &= \exp(2\pi \cdot i \cdot \alpha_0 \cdot V_{кр}^{-1}) \\ V_{кр} &= \frac{2\pi \cdot i}{T}; \quad i = 1, 2, 3 \dots 6 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При $hs > \frac{1}{w} q_{вр}$ — система динамически устойчива от резонанса;

$\varepsilon_s = 0$; $hs < \frac{1}{w} q_{вр}$ — система динамически неустойчива, возможен резонанс;

$\alpha_0 = w \cdot V_{кр}$; T — период колебаний после резонанса.

Пролетного строения мосталогарифмический декремент затухания колебаний равен:

$$\lg \delta = 2\pi \cdot \zeta; \quad (10)$$

где ζ — коэффициент затухания.

Прогибовиброграммы, полученные в процессе трех стадий испытания — отражающие реальную картину динамического процесса, происходящего в конструкциях моделей и реальных пролетных строениях мостов представлены на рис. 5–10.

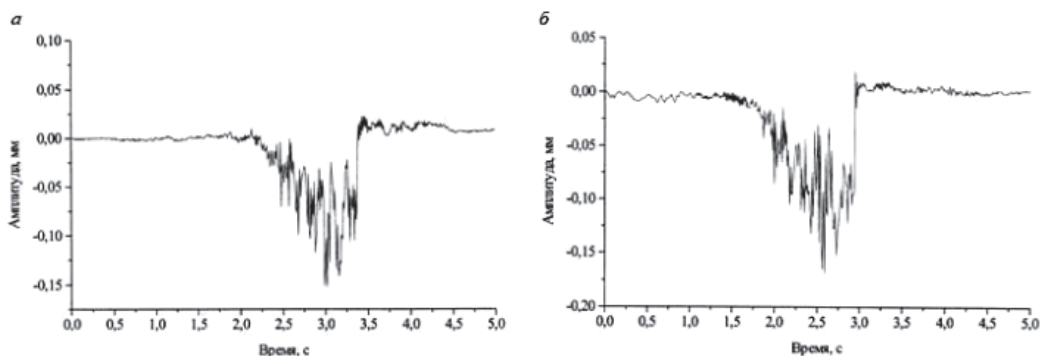


Рис. 5. Прогибовиброграмма, записанная при испытании:
а — модели Б-1 сталежелезобетонного пролетного строения;
б — модели Б-3 металлического пролетного строения

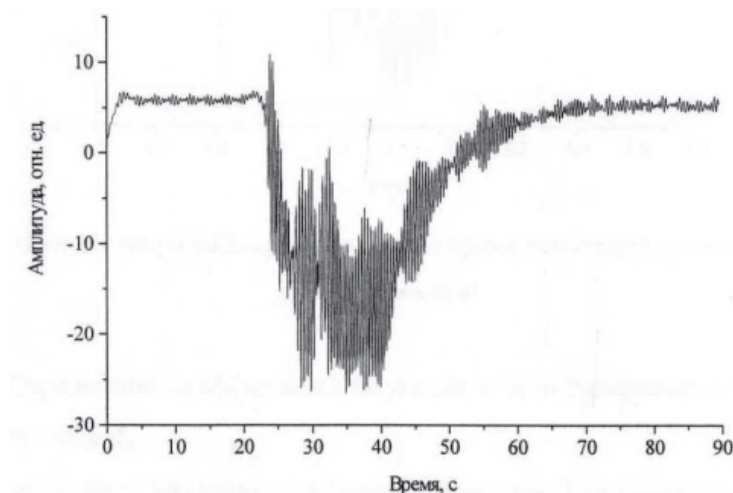


Рис. 6. Прогибовиброграмма после проезда одного грузового автомобиля по сталежелезобетонному пролетному строению моста

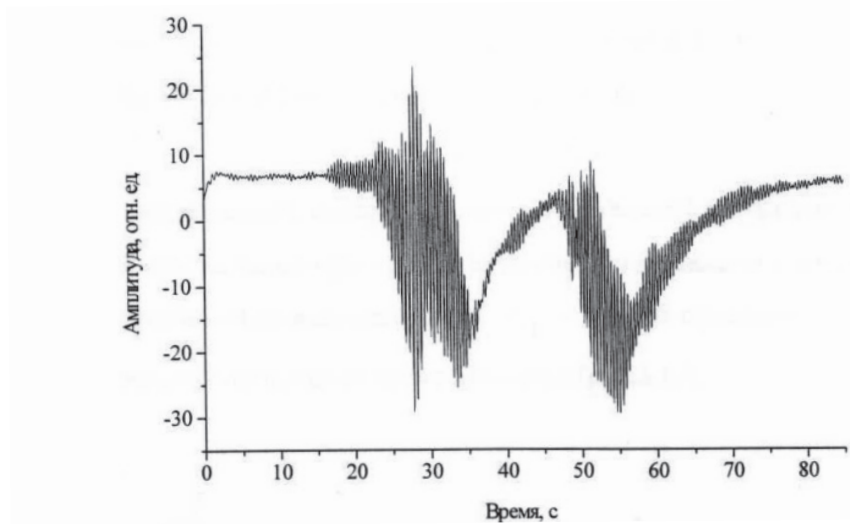


Рис. 7. Прогибовиброграмма после проезда двух грузовых автомобилей по сталежелезобетонному пролетному строению моста

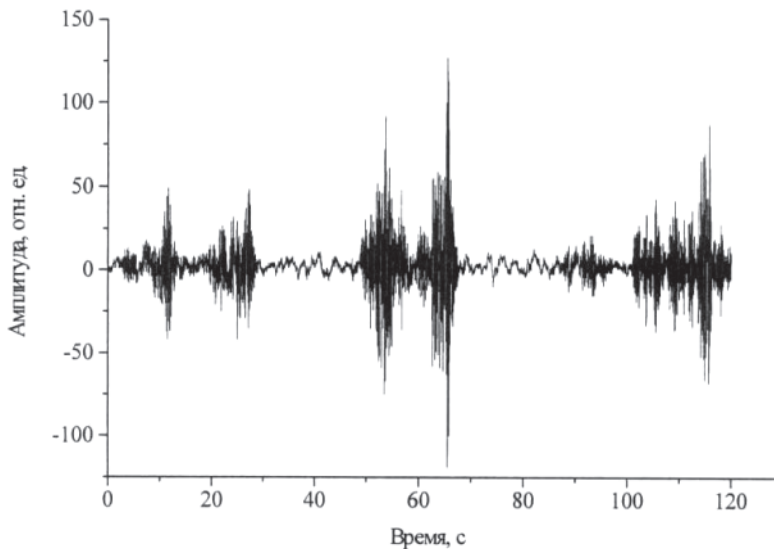


Рис. 8. Акселерограмма, записанная при движении группы разнотипных транспортных средств при испытании железобетонного моста

Стадия 1 — пролетное строение раскачивается на вынужденной частоте за счет колебания подвижной нагрузки в пределах 0,2–0,3 св зависимости от жесткостных характеристик конструкции.

Стадия 2 — характеризуется изменением спектра частот, когда пролетное строение начинает колебаться на двух основных частотах собственной и вынужденной, причем амплитуда собственных колебаний больше амплитуды вынужденных колебаний в 2–3 раза.

Стадия 3 — соответствует периоду свободных колебаний моста в условиях отсутствия временной подвижной нагрузки. Достоверность и

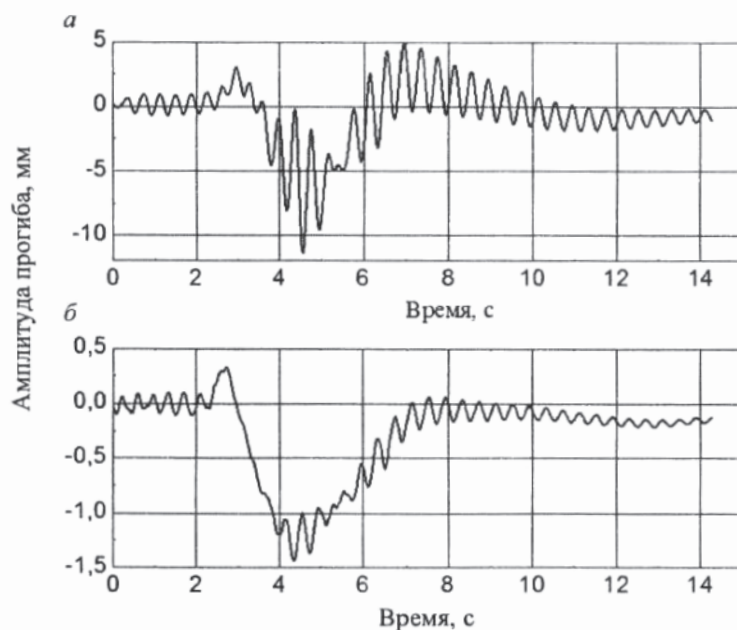


Рис. 9. Прогибовиброграммы с учетом проявления дефектов проезжей части

надежность методов исследования, полученных теоретическим и экспериментальным способами представлены в табл. 1 и рис. 9.

Таблица 1

Значения теоретических и экспериментальных данных

Значения частот колебаний		Скорость автомобиля u , км/ч								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
1 авт.	Собственная f_c , Гц	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,1
	Вынужденная f_v , Гц	<u>2,09</u> 2,0	<u>2,63</u> 2,0	<u>3,17</u> 2,1	<u>3,71</u> 2,3	<u>3,89</u> 2,4	<u>3,98</u> 2,5	<u>4,12</u> 2,6	<u>4,27</u> 2,8	<u>4,39</u> 2,9
2 авт.	Собственная f_c , Гц	<u>1,9</u> 2,4	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,3	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,2	<u>1,9</u> 2,2
	Вынужденная f_v , Гц	<u>2,96</u> 2,5	<u>2,95</u> 2,4	<u>2,94</u> 2,4	<u>2,93</u> 2,3	<u>2,88</u> 2,3	<u>2,86</u> 2,2	<u>2,84</u> 2,1	<u>2,83</u> 2,0	<u>2,81</u> 1,9

Примечание. В числителе — теоретические значения; в знаменателе — экспериментальные значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Адекватность теоретических и экспериментальных результатов подтверждается приведением колебательной системы к одной степени свобо-

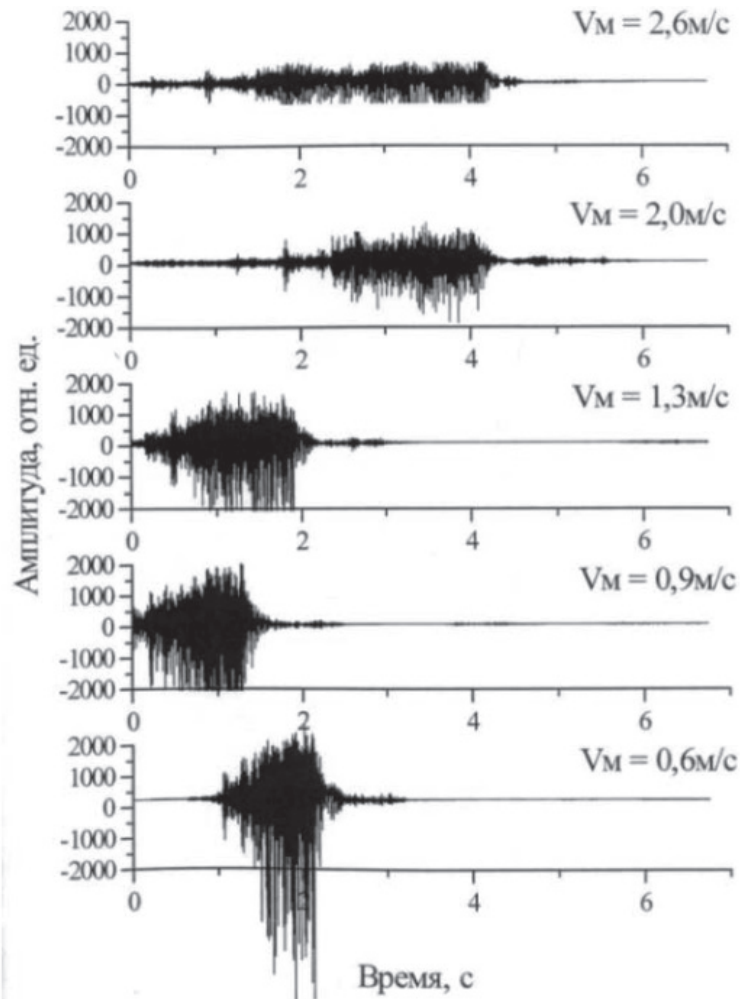


Рис. 10. Акселерограммы, записанные во время эксперимента на модели Б-3

ды, а гармоника колебания совпадает со статической формой вертикальных перемещений от действия постоянной нагрузки. При совпадении формы колебания в виде синусоиды с параболой статического прогиба справедлива зависимость

$$M_{\max} = \frac{2(P_{\text{п}} + P_{\text{вр}}) \cdot \ell}{9\pi^2} \left(9 \sin \frac{\pi x}{\ell} - \sin \frac{3\pi x}{\ell} \right). \quad (11)$$

В соответствии с ранее заявленной авторами целью максимальному изгибающему моменту $M_{\max}$ соответствует частота вынужденных колебаний W , равная

$$W = \sqrt{\frac{4g_g}{(y_{\max} - y_{\text{пост}}) \cdot \pi \cdot m}}. \quad (12)$$

При испытании пятипролетного моста со схемой 83+83+104+83+83 м в сталежелезобетонном исполнении экспериментальное значение $w = 3,8 \div 4,13$ Гц, тогда как расчетное значение по формуле (12) составило $4,2 \div 4,8$ Гц.

При испытании сталежелезобетонного моста со схемой 42,6+42,6+42,6 м экспериментальное значение W для случайного транспортного потока, состоящего из 3-х и более автотранспортных средств, составило 3,654 Гц, при теоретическом значении по формуле (12) $w = 4,0$ Гц. На основании прогибовиброграммы от прохода 2-х автотранспортных средств и виброграммы, полученной в автоматическом режиме работы комплекта «Диамос», анализ частей свободных и вынужденных колебаний пролетных строений от воздействия системы «пролетное строение + автомобиль» с учетом проявления дефектов проезжей части (см. рис. 9) указывает на резонансное состояние на 65 секунде испытания. Данное обстоятельство стало возможным в результате спектрального анализа в условиях центрирования сигнала, устранившего тренд в области инфранизких частот и дальнейшей цифровой фильтрации виброграммы с помощью режекторного фильтра. Из анализа экспериментальных динамических характеристик установлено: на зафиксированной частоте колебаний моста при $\nu = \frac{w}{p} \geq 1$ фаза возмущающей силы и вынужденных колебаний отличается на 180° .

ОБСУЖДЕНИЕ

Авторы пришли к выводу, ранее не трактовалось отечественными и зарубежными исследователями: совершенствование динамических характеристик и в целом динамического процесса, включая резонанс, следует ориентироваться на зависимость между скоростью распространения волн изгиба в несущих элементах пролетного строения и скоростью движения транспорта в случайном потоке на основании предположения, что скорость волны колебания не зависит от частоты колебаний, а является лишь функцией ее направления.

По мере роста скорости движения транспорта в случайном потоке растет и скорость, волнового фронта колебаний основного направления, а также с одновременным увеличением амплитуды колебания, что характерно для предрезонансной зоны динамического процесса.

Диссипативные силы в формировании значений амплитудно-частотных характеристик при прохождении колебаний по длине балки пролетного строения вносят коррективы в создание критических условий для предрезонансных или резонансных состояний, а именно: $w \gg p$ система проходит через резонанс при разгоне, причем A_w и A_p очень малы, так как энергия раскачивания системы «пролетное стро-

ение + автомобиль» действует короткое время 0–3 с (см. рис. 5). В тоже время увеличивается скорость нарастания частоты вынужденных колебаний, что указывает на необходимость классифицировать частоту вынужденных колебаний по степени опасности. В связи с этим архиважной задачей остается вычисление критической скорости движения транспорта, идентифицированную со скоростью распространения волны в балке пролетного строения при которых происходят изменения динамических характеристик колебательного процесса системы, способствующие повышению долговечности и безопасной эксплуатации мостов.

Применение ортотропных плит вместо железобетонной $EJ_c \ll EJ_{stb}$, снижение металлоемкости несущих балок пролетных строений за счет применения высокопрочной стали или бистальных сечений на 7–10% снижают жесткость, а значит нарушается установленный традиционный подход к расчету динамических характеристик. Попытка уровнять недостатки и преимущество уже существующих методов расчета динамических характеристик путем увеличения жесткости подвесок автотранспорта (пружины Стокбриджа), а также применение альтернативных длин пролетов расчетных схем меньшей длины, а значит более жестких с одной стороны, и увеличение массы системы «пролетное строение + автомобиль» с другой стороны, ведет к снижению частоты собственных колебаний. Таким образом, преимущественным этапом регулирования динамических характеристик является регулирование частоты собственных колебаний, например введением искусственного трения в виде демпферов — пружин подвесок автотранспорта.

ВЫВОДЫ

Регулирование динамических характеристик пролетных строений металлических мостов предусматривает перспективное вмешательство в динамическую работу мостов в условиях изменяющегося воздействия временной подвижной нагрузки, в том числе и с учетом дефектов, активно вмешиваться в процессе эксплуатации в «игру сил» (усилий) и распределять их в сторону, выгодную для обеспечения долговечности и безопасной эксплуатации.

Для оценки эксплуатационного состояния мостовых сооружений в нашей стране и за рубежом достаточно было определить «эквивалентную нагрузку» и показатели предельного срока службы. Рассматриваемое динамическое состояние мостов в современных и перспективных направлениях теоретических и экспериментальных работ сводится к формированию «добротного» колебательного режима динамического напряженно-деформированного состояния пролетных строений. По мнению авторов «добротность» колебательного процесса (D_k) являет-

ся параметром функции не нагруженности (эквивалентной нагрузки) и времени нагружения, не функции какой-то механической системы с механическими характеристиками, а функцией энергетического состояния в выражении амплитудно-частотных характеристик.

Исследования В.Л. Бидермана убедительно указывают в том, что «добротность» колебательного процесса D_k тем больше, чем меньше логарифмический декремент затухания ($\lg \delta$), а колебание амплитудного значения зависит от неравенства $w \ll p: w \gg p$ — режимы колебания далеки от резонансных и значение $\lg \delta$ в малой степени влияют на D_k . Речь идет о целесообразности рассматривать вариант устойчивости динамической системы с учетом возможного проявления резонанса в условиях самоорганизующегося или искусственного резонанса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганиев Р.Ф. Колебания твердых тел / Р.Ф. Ганиев, В.О. Кононенко. Москва: Наука, 1976. 432 с.
2. Картопольцев В.М. Применение бистальных балок в пролетных строениях автодорожных мостов: автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / В.М. Картопольцев. Ленинград, 1991. 33 с.
3. Картопольцев А.В. Мониторинг динамических характеристик пролетных строений мостов с применением мобильного аппаратно-программного комплекса «Диамос» / А.В. Картопольцев, Н.Н. Бочкарев. Техника и технологии дорожного хозяйства 1/200, 2000. С. 62–66.
4. Картопольцев В.М. Определение динамических напряжений и деформаций в сталежелезобетонных мостах / В.М. Картопольцев, В.М. Сафронов, А.В. Картопольцев, Б.Д. Колмаков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. № 3, 2016. С. 194–204.
5. Картопольцев А.В. Совершенствование метода оценки динамических характеристик пролетных строений балочных автодорожных мостов: диссерт. на соиск. ученой степени канд. техн. наук / А.В. Картопольцев. Томск, 1998. 147 с.
6. A. Kartopolvev, V. Safronov. Анализ на резултати от изпитване на стоманен пътен мост / A. Kartopolvev, V. Safronov // Пътища, 2/2007. Р. 11–16.
7. Лашенко М.Н. Регулирование напряжений в металлических конструкциях / М.Н. Лашенко. Ленинград; Москва: Стройиздат. [Ленингр. отд-ние], 1966. 191 с.

REGULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF BRIDGE SPANS IN THE CONDITIONS OF THE CHANGING IMPACT OF THE TEMPORARY MOVING LOAD

Kartopoltsev Vladimir Mikhailovich

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of the International
Higher Education Academy Of Sciences (IHEAS)*

Kartopoltsev Andrey Vladimirovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
LLC «DIAMOS», 634003, Russia, Tomsk, Solyanoy lane, 24/1
diamos@mail.ru, tel.: +79138292058*

Abstract: It is known that an unregulated structure is likened to an unadjusted musical instrument [7]. The adjusted dynamic stress-strain state of the bridge spans will be adequate to the parameters of the design and operational state as a result of the introduction of regulation and control of fluctuations in the conditions of the changing impact of the temporary mobile load.

Methods for regulating dynamic characteristics by changing the frequency of natural oscillations of the system, taking into account energy dissipation, as well as introducing into the oscillatory process a transformed form of intense oscillations in the process of artificial or selective resonance, in which the oscillations of the system either damp or cease to be dangerous, are especially carefully considered.

Attention is focused on the influence of the defectiveness of the roadway with an increase in the mass and speed of a temporary moving load. For this purpose, a classifier of bridge deck defects has been developed to clarify the boundaries of the effect of a defect on the dynamic operation of a structure [1, 3].

Analysis of the structural content and criteria for determining $(1 + \mu_g)$ shows the insufficiency of the components assessing the effect of the temporary mobile load on the span under non-stationary oscillations, and also reveals contradictions in the assessment of the dynamic additive μ_g .

The practical use of the research results is advisable by the Ministry of Transport Construction in the implementation of state national programs and projects for improving structures, calculation methods, design and operation of bridge structures.

Keywords: bridge, regulation of dynamic characteristics, oscillations, system, defects, dissipation.