

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ANALYSIS AND DESIGN OF BUILDING STRUCTURES

DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13
УДК 624.21

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Обоснование необходимости и способа модернизации программного обеспечения измерительного комплекса для оценки грузоподъемности балочных пролетных строений автодорожных мостов

П.М. Саламахин^{1*}, Е.А. Луговцев²

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

²Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Российская Федерация, 119121, Москва, проезд Девичьего Поля, 4

*pavel-salamahin@mail.ru

История статьи:

Поступила в редакцию: 11 октября 2019 г.

Доработана: 22 декабря 2019 г.

Принята к публикации: 15 января 2020 г.

Аннотация

В статье отмечено, что программное обеспечение комплекса, используемого в российских войсках для решения в короткие сроки актуальной задачи определения возможности безопасного пропуска сверхтяжелых грузов по балочным автодорожным мостам, имеет следующие недостатки: 1) оно может быть использовано только для разрезных железобетонных мостов; 2) решение о возможности пропуска по мосту сверхтяжелой нагрузки принимается только по значению прогиба в середине пролетного строения без учета возникающих напряжений в пролетных строениях, а также без учета несущей способности опор моста. С целью исключения этих недостатков в статье: 1) получена строгая формула для вычисления прогиба в середине балочных пролетных строений из любых конструкционных материалов от угла поворота их опорных сечений; 2) на основе использования фундаментальной связи между относительными высотами балочных пролетных строений, относительными деформациями кромок их поперечных сечений и относительными их прогибами доказана возможность вычисления значения максимальных напряжений в кромок поперечных сечений балочных пролетных строений из любых конструкционных материалов по значению максимального прогиба в середине их пролетов; 3) установлен способ определения возможности опор балочных мостов обеспечить безопасный пропуск тяжеловесного средства по характеру изменения углов поворота опорных поперечных сечений пролетных строений под воздействием движения макета тяжеловесного средства. Учет трех этих результатов при модернизации программного обеспечения измерительного комплекса обеспечивает достижение цели работы.

Ключевые слова: мост; пролетное строение; прогиб в середине пролета; угол наклона опорного сечения; макет тяжеловесного средства; методика; расчет; напряжение в кромке поперечного сечения

Для цитирования

Саламахин П.М., Луговцев Е.А. Обоснование необходимости и способа модернизации программного обеспечения измерительного комплекса для оценки грузоподъемности балочных пролетных строений автодорожных мостов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 1. С. 5–13. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>

Введение

В практике эксплуатации автомобильных дорог РФ иногда возникают и будут возникать сложные

актуальные задачи определения в короткие сроки возможности безопасного пропуска по автодорожным мостам тяжеловесных ценных грузов. Действующие в РФ нормативные документы [1–11] для решения этой задачи непригодны, так как их использование требует длительного времени для выполнения большого объема работ по выявлению фактического состояния мостового сооружения.

В связи с этим в 2000-х годах специалистами ВИА имени В.В. Куйбышева была разработана ме-

Саламахин Павел Михайлович, д. т. н., профессор, ведущий научный сотрудник, академик ПАТ; eLIBRARY SPIN-код: 2596-3649, Scopus ID: 6504210104.

Луговцев Евгений Анатольевич, к. т. н. доцент, докторант кафедры дорог, мостов и переправ. eLIBRARY SPIN-код: 7389-8508.

© Саламахин П.М., Луговцев Е.А., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

тодика для быстрого определения грузоподъемности балочных мостов по значению угла поворота опорного поперечного сечения пролетного строения от воздействия макета пропускаемого тяжеловесного средства. Эта методика была преобразована специалистами ООО «НТЦ “Техническая диагностика и прецизионные измерения”» в удобную систему измерений СИ-ППМ15Н1955 для оценки возможности безопасного пропуска тяжеловесных средств по железобетонным разрезным пролетным строениям автодорожных мостов.

Использование этой системы измерений позволило значительно уменьшить трудоемкость и время решения задачи по определению возможности безопасного пропуска тяжеловесного средства по железобетонным мостам, что особо актуально для военных инженеров.

В основу создания СИ-ППМ15Н1955 положен расчетно-экспериментальный метод оперативного определения угла поворота опорного сечения железобетонного пролетного строения автодорожных мостов с одновременным вычислением прогиба в середине пролетного строения, по численному значению которого принимается решение о возможности пропуска тяжеловесного груза по мостовому сооружению в предположении, что несущая способность опор моста будет достаточной, что является также существенным недостатком программного обеспечения действующего расчетного комплекса.

Из имеющихся для анализа источников, к сожалению, не представляется возможным определить используемую в действующем программном обеспечении методику вычисления прогиба в середине пролета железобетонных мостов от угла поворота их опорных сечений и установить можно ли ее использовать для решения той же задачи применительно к разрезным и неразрезным пролетным строениям автодорожных мостов из любых конструкционных материалов.

Способы устранения недостатков существующего программного обеспечения расчетного комплекса

Получение строгих формул для определения прогиба в середине пролетного строения по углу поворота его опорного сечения

Чтобы обеспечить возможность решения задачи о безопасном пропуске тяжеловесных транспортных средств по балочным пролетным строениям из любых конструкционных материалов, определим вначале зависимость прогиба в середине их пролетов от угла наклона опорных сече-

ний, от воздействия пропускаемых по ним макетов тяжеловесных нагрузок.

В первую очередь получим ее для случая загрузки разрезного пролетного строения равномерно распределенной нагрузкой.

Учтем, что максимальное значение прогиба f в середине пролета в этом случае вычисляется по известной [12] формуле (1) С.П. Тимошенко:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J}. \quad (1)$$

Тангенс угла наклона θ опорного сечения для этого случая также определяется во известной формуле (2) С.П. Тимошенко [12]:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\theta = \frac{q \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot J}. \quad (2)$$

Определим из (2) значение EI и подставим его в (1), получим требуемую зависимость (3):

$$f = \frac{l}{3.2} \cdot \operatorname{tg}\theta. \quad (3)$$

Решая аналогично эту задачу для случая загрузки пролетного строения одним сосредоточенным грузом P с использованием формул С.П. Тимошенко для прогиба (4) в середине пролета и угла наклона (5) опорного сечения, получим искомую зависимость в виде (6)

$$f = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}; \quad (4)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\theta = \frac{P \cdot l^2}{16 \cdot E \cdot J}; \quad (5)$$

$$f = \frac{l}{3} \cdot \operatorname{tg}\theta. \quad (6)$$

Далее получим требуемую зависимость прогиба в середине балочного пролетного строения от угла наклона его опорного поперечного сечения для случая любого балочного пролетного строения из любого конструкционного материала, загруженного какой-то нагрузкой, при которой упругая ось может описываться асинусоидальной формулой (7), а тангенс угла наклона оси к горизонтали соответственно формулой (8):

$$y(x) = a \cdot \sin \frac{\pi x}{l}; \quad (7)$$

$$\frac{dy(x)}{dx} = \operatorname{tg}\theta(x) = a \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi \cdot x}{l}. \quad (8)$$

Учтем, что для этого случая

$$y\left(x = \frac{l}{2}\right) = f_{\max} = a; \quad (9)$$

$$\operatorname{tg}\theta(x=0) = a \frac{\pi}{l}. \quad (10)$$

Тогда

$$\frac{f_{\max}}{\operatorname{tg}\theta(x=0)} = \frac{a \cdot l}{a \cdot \pi} = \frac{l}{\pi}. \quad (11)$$

Откуда получаем

$$f_{\max} = \frac{l}{\pi} \operatorname{tg}\theta. \quad (12)$$

Анализируя полученные формулы (3), (6) и (12) для существенно различных схем нагружения, замечаем, что они дают практически одинаковые значения, не зависят от жесткости пролетных строений и весьма слабо зависят от схемы нагружения. Отсутствие в этих зависимостях жесткости пролетных строений дает основание считать, что они могут быть применены и для железобетонных пролетных строений, так как прогиб в середине их пролета и угол поворота опорного поперечного сечения пролетного строения определяется при одной и той же жесткости, зависящей от реального трещинообразования.

Использование фундаментальной связи

Для расширения возможностей системы измерений при определении грузоподъемности пролетных строений из любых конструкционных материалов и получения возможности вычислять по выявленным прогибам максимальные напряжения в кромках поперечных сечений пролетных строений получим далее связь между прогибами и напряжениями, возникающими в разрезных балочных пролетных строениях.

Для этого используем фундаментальную связь (13) для разрезных балочных пролетных строений из любых конструкционных материалов, полученную П.М. Саламахиным и приведенную им в работе [13]:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{\alpha \cdot \rho} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{l}{h}. \quad (13)$$

Она устанавливает связь между относительными прогибами $\frac{f}{l}$ разрезных балочных пролетных

строений, относительными их высотами $\frac{h}{l}$ и от-

носительными деформациями $\frac{\sigma}{E}$ кромок их поясов. В ней α и ρ – коэффициенты, зависящие от формы поперечного сечения пролетного строения и схемы его нагружения соответственно.

Для определения ρ от любой действующей нагрузки используем эквивалентную равномерно-распределенную нагрузку q , вычисляемую по формуле (14):

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\omega}, \quad (14)$$

где P_i – усилия на i -тую ось от пропускаемой нагрузки; y_i – ордината линии влияния силового фактора под i -той осью нагрузки в критическом ее положении, когда вычисляемое усилие приобретает максимальные значения; ω – площадь линии влияния силового фактора; n – число осей пропускаемой нагрузки.

При этом коэффициент, зависящий от этой схемы нагружения пролетного строения, будет иметь следующий вид (15):

$$\rho = \left(\frac{48}{5} \right) = 9,6. \quad (15)$$

Коэффициент α , зависящий от типа поперечного сечения, вычисляется для каждой формы поперечного сечения по формуле (16):

$$\alpha = \frac{y_{\max}}{h}, \quad (16)$$

где y_{\max} – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленной кромки поперечного сечения пролетного строения; h – высота поперечного сечения балочного пролетного строения.

Значения α для различных форм поперечных сечений пролетных строений из различных материалов могут быть получены из [14–21].

Приводим в этой статье их ориентировочные значения в таблице.

С учетом вышеизложенного получим из (13) зависимость максимальных напряжений от временной нагрузки в середине пролета разрезного балочного пролетного строения в следующем виде:

$$\sigma = \alpha \cdot \rho \cdot E \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{h}{l}. \quad (17)$$

Таблица

Значения коэффициентов α для поперечных сечений из различных конструкционных материалов
[Table. Coefficient values α for cross sections made of various structural materials]

№ п/п	Материал пролетного строения [The material of the superstructure]	Значение коэффициента α [Value of coefficient α]
1.	Сталь [Steel]	0,55
2.	Сталежелезобетонное сечение приведено к стали [The steel-reinforced concrete section is reduced to steel]	0,6
3.	Железобетонное сечение приведено к бетону [The reinforced concrete section is reduced to concrete]	0,55
4.	Клееная древесина [Glued wood]	0,5
5.	Деревометалложелезобетонное сечение приведено к дереву [Wood metal reinforced concrete section is brought to the tree]	0,7

Формула (24), полученная при использовании фундаментальной безразмерной связи (23) между максимальными относительными деформациями материала в поясах разрезных балочных пролетных строений, относительными их прогибами и относительными высотами, может быть использована для вычисления напряжений в разрезных балочных пролетных строениях из любых конструкционных материалов от прогиба в середине пролета.

В неразрезных на обеих опорах балочных пролетных строениях из любых конструкционных материалов при прочих равных условиях изгибающий момент и напряжения в середине пролета обычно в два раза меньше, чем в разрезных [22]. Это будем учитывать введением в формулу (17) множителя 0,5, получим при этом формулу (17а):

$$\sigma = 0,5 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot E \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{h}{l}. \quad (17a)$$

В неразрезных на одной из опор балочных пролетных строениях из любых конструкционных материалов при прочих равных условиях изгибающий момент и напряжения в середине пролета обычно на 30 % меньше, чем в разрезных [22]. Это будем учитывать введением в формулу (17) множителя 0,7, получим при этом формулу (17б):

$$\sigma = 0,7 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot E \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{h}{l}. \quad (17b)$$

Для решения вопроса о возможности пропуска тяжеловесного средства по пролетному строению по формуле (6) вычисляется максимальное значение прогиба f_{\max} и по формулам (17), (17а) или (17б) соответственно максимальные значения напряжений $\sigma_{\max\text{вр}}$ от временной нагрузки в кромках поперечных сечений пролетных строений из соответствующих конструкционных материалов: стальных, сталежелезобетонных, клеендеревянных, деревометалложелезобетонных и железобетонных.

Для определения напряжений в кромках поперечных сечений пролетных строений необходимо вычислить напряжение от собственного веса пролетного строения. С этой целью в методику проведения испытаний моста нужно внести дополнения.

До начала экспериментальной части исследования мостового сооружения:

- по специальной программе определяется максимальное значение изгибающего момента $M_{\max\text{макс}}$ в кНм в середине пролета от макета тяжеловесного средства, что дает в последующем возможность вычисления жесткости пролетного строения и его момента инерции по значению максимального прогиба пролетного строения в середине пролета, вычисляемого по значению максимального угла поворота его опорного сечения;

- для обеспечения возможности вычисления прогибов в середине пролета и напряжений в кромках поперечных сечений пролетных строений из любых материалов от собственного веса необходимо определить величину пролета и размеры элементов поперечного сечения пролетного строения по данным измерения или данным типовых проектов, а далее вычислить его погонный вес q по формуле (18):

$$q = \sum F_i \cdot y_i, \quad (18)$$

где F_i – площадь i -того элемента поперечного сечения пролетного строения в м^2 ; y_i – объемный вес материала i -того элемента поперечного сечения пролетного строения в $\text{кН}/\text{м}^3$.

Одновременно с этим следует вычислить максимальный изгибающий момент в середине пролета от его собственного веса по формуле (19):

$$M_{\max\text{св}} = \frac{ql^2}{8}. \quad (19)$$

- определить модуль упругости материала пролетного строения;

- определить места установки приборов для измерения угла поворота исходного опорного сечения пролетного строения.

Имея значения прогиба из формулы (20)

$$f = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{\max} \cdot l^4}{E \cdot J}, \quad (20)$$

получаем возможность вычисления реальных значений жесткости EJ_p (21) и момента инерции J_p (22) пролетного строения:

$$EJ_p = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{\max} \cdot l^2}{f}, \quad (21)$$

$$J_p = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{\max} \cdot l^2}{E \cdot f}. \quad (22)$$

Имея реальные жесткости и моменты инерции балочного разрезного пролетного строения, зная изгибающий момент от собственного веса, вычисляются напряжения в кромках его поперечного сечения и прогиб в середине его пролета по формулам

$$\sigma_{\text{св}} = \frac{M_{\max \text{ св}} \cdot \alpha \cdot h}{J_p}, \quad (23)$$

$$f_{\text{св}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{\max \text{ св}} \cdot l^2}{E \cdot J_p}, \quad (24)$$

где α – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения пролетного строения.

В неразрезных на обеих опорах балочных пролетных строениях определяем напряжение от собственного веса по формуле (24а):

$$\sigma_{\text{св}} = \frac{0,5 \cdot M_{\max \text{ св}} \cdot \alpha \cdot h}{J_p}. \quad (24а)$$

В неразрезных на одной из опор балочных пролетных строениях определяем напряжение от собственного веса по формуле (24б):

$$\sigma_{\text{св}} = \frac{0,7 \cdot M_{\max \text{ св}} \cdot \alpha \cdot h}{J_p}. \quad (24б)$$

Кроме того, для сокращения времени на определение геометрических характеристик балок, имея реальные жесткости и моменты инерции балочного пролетного строения, погонный вес балки можно вычислить по формуле, приведенной в [14], после экспериментального определения частоты собственных колебаний пролетного строения:

$$\lambda_i = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\alpha_i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}. \quad (25)$$

Откуда получаем

$$m = \frac{\alpha_i^4 \cdot E \cdot J}{4 \cdot \lambda_i^2 \cdot \pi^2 \cdot l^4}, \quad (26)$$

$$q = m \cdot g, \quad (27)$$

где λ_i – частота, соответствующая i -той форме колебаний в Гц; m – погонная масса, кг/м; q – погонный вес, Н/м; g – ускорение свободного падения; α_i – корни характеристического уравнения.

Если для стальных, сталежелезобетонных, деревометалложелезобетонных и клеедеревянных пролетных строений

$$f_{\max} < \frac{l}{400} \quad \text{и} \quad \sigma_{\max \text{ вр}} + \sigma_{\max \text{ св}} < R_s, \quad (28)$$

(где R_s – расчетное сопротивление растяжению соответствующего материала), то пропуск транспортного средства по обеим группам предельных состояний пролетных строений возможен.

При невыполнении одного из этих условий пропуск тяжеловесного транспортного средства невозможно.

Для железобетонных пролетных строений с напрягаемой арматурой пропуск возможен при выполнении условий

$$f_{\max} < \frac{l}{400} \quad \text{и} \quad \sigma_{\max \text{ вр}} - \sigma_{\text{пр.напр.бет}} + \sigma_{\max \text{ св}} < R_s, \quad (29)$$

где R_s – расчетное сопротивление растяжению бетона; $\sigma_{\text{пр.напр.бет}}$ – предварительное напряжение бетона, принимаемое равным $0,8 R_s$.

При решении этой задачи применительно к железобетонным пролетным строениям с ненапрягаемой арматурой в процессе вычисления максимального напряжения в кромке поперечного сечения по формуле (24) может случиться, что напряжение в бетоне в нижней кромке балок будет значительно больше расчетного сопротивления бетона на растяжение. Это будет означать, что в бетоне в средней части балки появятся трещины с различным их раскрытием. Однако это не будет означать, что пролетное строение полностью потеряло несущую способность. Минимальную несущую способность пролетного строения в этом случае можно получить на основе следующих соображений. Допустим, что в середине пролета в балках этих пролетных строений трещины появились даже до нижней кромки плиты проезжей части, которая продолжает работать на сжатие равномерно по всей ее толщине $h_{\text{пл}}$. Несущая способность пролетного

строения в этом случае обеспечивается парой сил, состоящих из растягивающего усилия в нижней арматуре и сжимающего усилия в плите проезжей части, связанных между собой уцелевшими хомутами арматуры в стенках балок.

Минимальную (остаточную) несущую способность пролетного строения определим далее в следующей последовательности.

Используя вычисленный прогиб f в середине пролета по первым при движении макета транспортного средства измерениям, зная значение эквивалентной нагрузки q от него, величину пролета l

и значение модуля упругости E бетона из известной для этого случая формулы для прогиба

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J}, \quad (30)$$

получим реальное значение момента инерции J испытываемого пролетного строения по формуле (31):

$$J_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot f}. \quad (31)$$

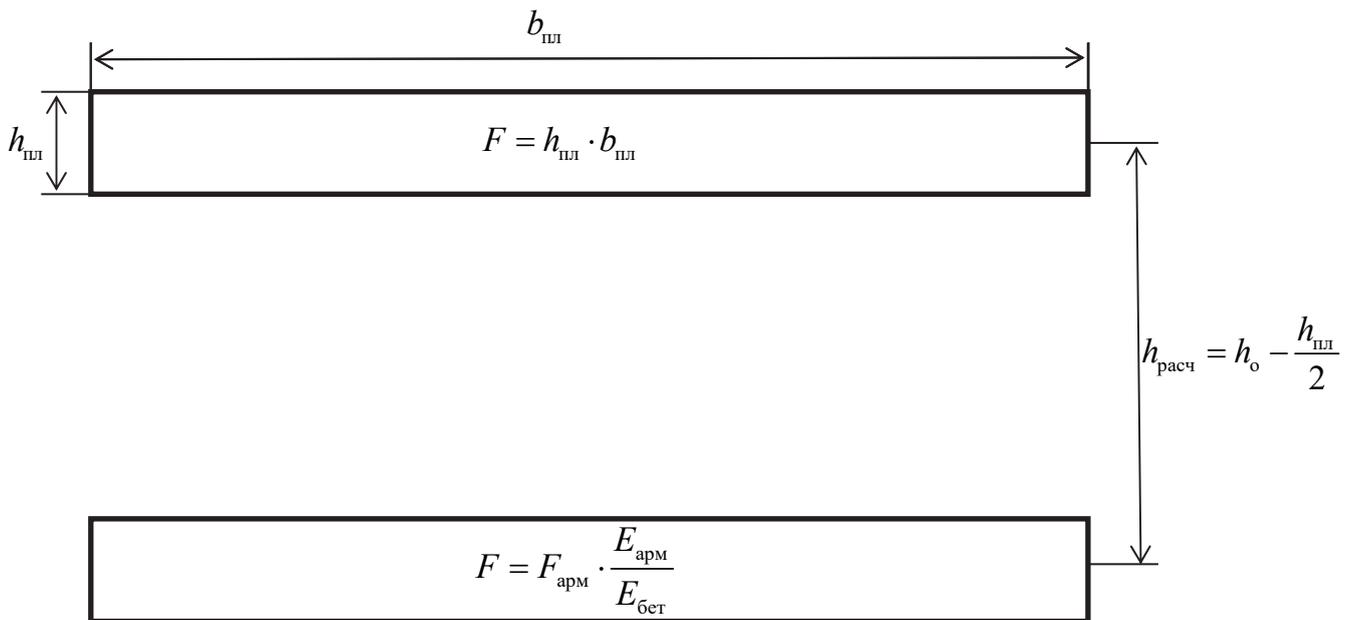


Рисунок. Расчетная схема поперечного сечения пролетного строения с минимальной несущей способностью
[Figure. Design diagram of the cross section of the span structure with a minimum load capacity]

При принятой расчетной схеме поперечного сечения пролетного строения на рисунке его момент инерции будет равен

$$J = 2 \cdot F_{бет} \cdot \left(\frac{h_{расч}}{2} \right)^2. \quad (32)$$

Из условия равенства выражений (31) и (32) определяем площадь бетона плиты проезжей части, активно вовлекавшейся в работу в рассматриваемом случае, по формуле (33)

$$F_{бет} = \frac{J_p}{2 \cdot \left(\frac{h_{расч}}{2} \right)^2}. \quad (33)$$

Далее по активной площади бетона находим реальную площадь рабочей арматуры в нижнем поясе балки из условия (34):

$$F_{бет} = h_{пл} \cdot b_{пл} = \frac{F_{арм} \cdot E_{арм}}{E_{бет}} \quad (34)$$

по формуле (35)

$$F_{арм} = \frac{F_{бет} \cdot E_{бет}}{E_{арм}}. \quad (35)$$

Зная расчетное сопротивление ненапрягаемой арматуры $R_{арм}$, получаем возможность определить минимальное значение изгибающего момента в середине пролета балочного пролетного строения с ненапрягаемой арматурой по формуле (36):

$$M_{мин} = F_{арм} \cdot R_{арм} \cdot h_{расч}. \quad (36)$$

Исходя из условия $F_{арм} \cdot R_{арм} = F_{бет} \cdot \sigma_{бет}$, определяем для этого случая напряжение в бетоне сжатой зоны по формуле (37):

$$\sigma_{\text{бет}} = \frac{F_{\text{арм}} \cdot R_{\text{арм}}}{F_{\text{бет}}}. \quad (37)$$

Проверка возможности безопасного пропуска транспортного средства по железобетонному пролетному строению с ненапрягаемой арматурой по условиям первого и второго предельных состояний пролетного строения выполняются по условиям (38):

$$f_{\text{max}} < \frac{l}{400} \quad \text{и} \quad \sigma_{\text{бет}} = \frac{F_{\text{арм}} \cdot R_{\text{арм}}}{F_{\text{бет}}} + \sigma_{\text{maxсв}} < R_b. \quad (38)$$

Способ определения возможностей опор балочных мостов

Оценку способности любых опор пролетных строений мостовых сооружений обеспечить безопасный пропуск по ним тяжеловесных средств с использованием модернизированного измерительного комплекса представляется возможным выполнить с учетом следующих соображений:

1) если при движении макета тяжеловесного средства в пределах первой половины пролетного строения угол наклона опорного сечения непрерывно плавно увеличивается, а при движении в пределах второй половины пролетного строения плавно уменьшается, то это свидетельствует о непросадочности опор под воздействием пропускаемого тяжеловесного средства и является признаком возможности обеспечения его безопасного пропуска по мосту;

2) если при движении макета тяжеловесного средства в пределах первой половины пролетного строения угол наклона опорного сечения вначале увеличивается, а затем начинает уменьшаться, то это свидетельствует о просадочности исходной опоры под воздействием пропускаемого тяжеловесного средства и является признаком невозможности обеспечения его безопасного пропуска по мосту;

3) если при движении макета тяжеловесного средства в пределах первой половины пролетного строения угол наклона опорного сечения непрерывно плавно увеличивается, а при движении в пределах второй половины пролетного строения продолжает увеличиваться, то это свидетельствует о просадочности противоположной опоры под воздействием пропускаемого тяжеловесного средства и является признаком невозможности обеспечения его безопасного пропуска по мосту.

Заключение

Решение вопроса о возможности безопасного пропуска тяжеловесного средства по любым балочным пролетным строениям, принимая во внима-

ние две группы их предельных состояний и поведение опор мостов, возможно после модификации программного обеспечения расчетного комплекса с учетом полученных формул для прогиба f (6) в середине пролетов разрезных и неразрезных пролетных строений из любых конструктивных материалов, напряжений σ в наиболее нагруженных кромках поперечных сечений по формулам (17), (17а) или (17б) соответственно и напряжений $\sigma_{\text{бет}}$ по формуле (37) в сжатой зоне бетона железобетонных пролетных строений с ненапрягаемой арматурой. При этом для любого пролетного строения вычисляются относительный прогиб f/l по значению вычисленного прогиба и величине пролета, максимальные значения в кромках металлических, сталежелезобетонных, железобетонных с напрягаемой арматурой, клееных деревянных пролетных строениях, а также максимальные напряжения $\sigma_{\text{бет}}$ в бетоне сжатой зоны железобетонных пролетных строений с ненапрягаемой арматурой.

Для обеспечения полной автоматизации решения задачи о возможности безопасного пропуска тяжеловесного средства по любым балочным автодорожным мостовым сооружениям вычислительный комплекс необходимо оснастить электронным прибором для измерения расстояния, пройденного по мосту макетом тяжеловесного средства, в метрах, способным непрерывно передавать значение пройденного расстояния компьютеру в ходе пропуска этого средства по мосту.

Список литературы

1. Военные мосты на жестких опорах: руководство. М.: Воениздат, 1982. 430 с.
2. ОДМ 218.4.025-2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Общая часть. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 102 с.
3. ОДМ 218.4.026-2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 355 с.
4. ОДМ 218.4.027-2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Металлические и сталежелезобетонные конструкции. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 121 с.
5. ОДМ 218.4.028-2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Опорные части, опоры и фундаменты. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 137 с.

6. ОДМ 218.4.029-2016. Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования. Определение грузоподъемности конструкций деревянных мостов. М.: РОСАВТОДОР, 2016. 26 с.

7. ОДМ 218.2.062-2015. Рекомендации по определению параметров расчетных нагрузок для современных транспортных средств. М.: РОСАВТОДОР, 2015. 48 с.

8. ОДН 218.0.032-2003. Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах. М.: РОСДОРНИИ; НИЦ «Мосты» ЦНИИС; ЗАО «ЦНИИПСК имени Мельникова», 2003. 42 с.

9. Свод правил СП35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011. 341 с.

10. Свод правил СП 79.13330.2012. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. 215 с.

11. ВСН 32-89. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. М.: Минавтодор РСФСР, 1990. 245 с.

12. Тимошенко С.П. Соппротивление материалов. Т. 1. М.: Физматгиз, 1960. 379 с.

13. Саламахин П.М. Проектирование мостовых и строительных конструкций: учебное пособие для сту-

дентов высших учебных заведений. М.: КноРус, 2011. 402 с.

14. Нгуен Нам Ха. Автоматизация проектирования и оптимизация сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов: дис. ... к. т. н. 2006. 182 с.

15. Нгуен М.Т. Автоматизированное проектирование неразрезных металлических пролетных строений автодорожных мостов с ортотропной плитой проезжей части: дис. ... к. т. н. 2011. 155 с.

16. Зьонг Тхе Ань. Автоматизированное проектирование разрезных железобетонных пролетных строений с напрягаемой арматурой: дис. ... к. т. н. 2011. 150 с.

17. Ле Мань Хан. Автоматизированное проектирование разрезных железобетонных пролетных строений с ненапрягаемой арматурой: дис. ... к. т. н. 2011. 155 с.

18. Решетников И.В. Обоснование рациональных конструктивно-технологических решений деревометалло-железобетонных пролетных строений автодорожных мостов: дис. ... к. т. н. 2015. 139 с.

19. Нгуен М.Т. Оптимизация параметров неразрезных металлических пролетных строений автодорожных мостов с ортотропной плитой проезжей части // Вестник МАДИ. 2011. № 3(26). С. 87–90.

20. Нгуен М.Т. Оптимизация параметров коробчатых металлических пролетных строений // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 3(58). С. 29а–31.

21. Саламахин П.М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве: учебник: в 2 кн. Кн. 1. М.: Академия, 2007. 345 с.

RESEARCH PAPER

Substantiation of the necessity and method of upgrading the software of the measuring complex for assessing the load capacity of girder spans of road bridges

Pavel M. Salamakhin^{1*}, Evgenii A. Lugovtsev²

¹Moscow Automobile and Road State Technical University, 64 Leningradsky Ave., Moscow, 125319, Russian Federation

²Military Training and Research Center of Land Forces "Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation",

⁴Devich'ego Polyva Passage, Moscow, 119121, Russian Federation

*pavel-salamahin@mail.ru

Article history:

Received: October 11, 2019

Revised: December 22, 2019

Accepted: January 15, 2020

Abstract

The article notes that the software of the complex used in the Russian troops to solve in a short time the actual problem of determining the possibility of safe passage of super heavy loads on girder road bridges has the following disadvantages: 1) it can only be used for split concrete bridges; 2) the decision to pass a large load through the bridge is made only by the value of the deflection in the center of the span, without taking into account the resulting stresses in the bridge span structure structures, and without taking into account the bearing capacity of the supports. In the article, in order to eliminate these shortcomings: 1) a strict formula is obtained for calculating the deflection in the middle of beam spans made of any structural materials from the angle of rotation of their support sections; 2) based on the use of the fundamental relationship between the relative heights of girder spans, the relative deformations of the edges of their cross sections and their relative deflections, it is proved that the maximum stresses in the edges of the cross sections of girder spans from any structural materials can be calculated by the maximum deflection value in the middle of their spans; 3) a method is established for determining the ability of beam bridge supports to ensure safe passage of

For citation

Salamakhin P.M., Lugovtsev E.A. Substantiation of the necessity and method of upgrading the software and method of upgrading the software of the measuring complex for assessing the load capacity of girder spans of road bridges. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(1):5–13. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-5-13>. (In Russ.)

a heavy vehicle by the nature of changing the rotation angles of the supporting cross sections of the span structures under the influence of the movement of the heavy vehicle layout. Taking these three results into account, when upgrading the software of the measurement system, ensures that the goal of the work is achieved.

Keywords: bridge; span structure; deflection in the middle of the span; the angle of inclination of the reference section; the layout of a heavy vehicle; methodology; calculation; stress in the edge of the cross section

References

1. *Voennye mosty na zhyostkih oporah: rukovodstvo* [Military bridges on rigid supports: handbook]. Moscow: Voenizdat Publ.; 1982. (In Russ.)

2. ODM 218.4.025-2016. *Recommendations for the determination of the carrying capacity of the exploited bridge structures on motor roads of general use. Common part*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2016. (In Russ.)

3. ODM 218.4.026-2016. *Recommendations for the determination of the carrying capacity of the exploited bridge structures on motor roads of general use. Concrete and reinforced concrete structures*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2016. (In Russ.)

4. ODM 218.4.027-2016. *Recommendations for the determination of the carrying capacity of the exploited bridge structures on motor roads of general use. Metal and steel-reinforced concrete structures*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2016. (In Russ.)

5. ODM 218.4.028-2016. *Recommendations for the determination of the carrying capacity of the exploited bridge structures on motor roads of general use. Support parts, supports and foundations*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2016. (In Russ.)

6. ODM 218.4.029-2016. *Recommendations for the determination of the carrying capacity of the exploited bridge structures on motor roads of general use. Determination of the load capacity of wooden bridge structures*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2016. (In Russ.)

7. ODM 218.2.062-2015. *Recommendations for the determination of the parameters design loads for modern vehicles*. Moscow: ROSAVTODOR Publ.; 2015. (In Russ.)

8. ODN 218.0.032-2003. *Temporary guide to determining the load capacity of bridge structures on highways*. Moscow: ROSDORNII Publ., SIC “Mosty” TsNIIS Publ., JSC “TsNIIPSK imeni Melnikova” Publ.; 2003. (In Russ.)

9. Set of rules SP35.13330.2011. *Bridges and pipes*. Updated version of SNiP 2.05.03-84. Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation; 2011. (In Russ.)

10. Code of rules SP 79.13330.2012. *Bridges and pipes. Rules of surveys and tests*. Updated version of SNiP 3.06.07-86.

Pavel M. Salamakhin, leading researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Russian Academy of Transport; eLIBRARY SPIN-code: 2596-3649, Scopus ID: 6504210104.

Evgenii A. Lugovtsev, Candidate of Technical Sciences, doctoral student of the Department of Roads, Bridges and Crossings; eLIBRARY SPIN-code: 7389-8508.

Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation; 2012. (In Russ.)

11. VSN 32-89. *Instructions for determining the load capacity of reinforced concrete girder spans of road bridges*. Moscow: Minavtodor RSFSR Publ.; 1990. (In Russ.)

12. Timoshenko S.P. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Part 1. Moscow: Fizmatgiz Publ.; 1960. (In Russ.)

13. Salamakhin P.M. *Proektirovanie mostovyh i stroitel'nyh konstrukcij* [Design of bridges and building structures]: textbook for students of higher education institutions Moscow: KnoRus Publ.; 2011. (In Russ.)

14. Nguyen N.H. *Avtomatizatsiya proektirovaniya i optimizatsiya stalezhelezobetonnyh proletnyh stroenij avtodorozhnyh mostov* [Automation of design and optimization of steel-reinforced concrete spans of road bridges] (Thesis of Candidate of Technical Sciences). 2006. (In Russ.)

15. Nguyen M.T. *Avtomatizirovannoe proektirovanie nerazreznnyh metallicheskih proletnyh stroenij avtodorozhnyh mostov s ortotropnoj plitoy proezzhej chasti* [Computer-aided design of continuous metal spans of road bridges with orthotropic roadway plate] (Thesis of Candidate of Technical Sciences). 2011. (In Russ.)

16. Zant Tze An. *Avtomatizirovannoe proektirovanie razreznnyh zhelezobetonnyh proletnyh stroenij s napryagaemoj armaturoj* [Computer-aided design of split reinforced concrete superstructures with stressed reinforcement] (Thesis of Candidate of Technical Sciences). 2011. (In Russ.)

17. Le Man' Han. *Avtomatizirovannoe proektirovanie razreznnyh zhelezobetonnyh proletnyh stroenij s nenapryagaemoj armaturoj* [Computer-aided design of split reinforced concrete superstructures with non-stressed reinforcement] (Thesis of Candidate of Technical Sciences). 2011. (In Russ.)

18. Reshetnikov I.V. *Obosnovanie racional'nyh konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij derevometallozhelezobetonnyh proletnyh stroenij avtodorozhnyh mostov* [Substantiation of rational structural and technological solutions of wood-metal-concrete spans of road bridges] (Thesis of Candidate of Technical Sciences). 2015. (In Russ.)

19. Nguyen M.T. Optimization parameter metal spans bridge with ortotropnoy plate drove Chats. *Vestnik MADI* [Bulletin of MADI]. 2011;3(26):87–90. (In Russ.)

20. Nguyen M.T. Optimization of box-shaped metal span parameters. *Science and Engineering for Highways*. 2011;(3):32–33. (In Russ.)

21. Salamakhin P.M. *Inzhenernye sooruzheniya v transportnom stroitel'stve* [Engineering structures in transport construction]: textbook: in 2 books. Book 1. Moscow: Academy Publ.; 2007. (In Russ.)