in the inclined section monolithic slabs with heavy loads]. Beton i zhelezobeton, 1990, no 1, pp.20 – 21.

10. Vasil'ev A.P., Golosov V.N. Sostojanie i perspektivy razvitija konstrukcij s vneshnim armirovaniem [The state and prospects of development of structures with external reinforcement]. Beton i zhelezobeton, 1981, no 3. pp.23 – 24.

11. Abbas H.S., Bakar S.A., Ahmadi M., Haron Z.: Experimental studies on corrugated steel-concrete composite slab [Experimental studies on corrugated steel-concrete composite slab]. GRAĐEVINAR 67 (2015) 3, pp. 225 – 233, doi: 10.14256/JCE.1112.2014

12. TU 67-452-82. Profili stal'nye gnutye s trapecievidnymi goframi i rifami. – Cheljabinsk: ChZPSN, 1982. 30 p.

13. Ajrumjan Je.L., Eliseev N.Ju. Novye tipy stal'nyh profilirovannyh nastilov dlja pokrytij i perekrytij zdanij [New types of profiled steel decking for roofs and ceilings of buildings] Strojprofil'. 2006. №2.

14. Ajrumjan Je.L., Rumjanceva I.A. Armirovanie monolitnoj zhelezobetonnoj plity perekrytija stal'nym profilirovannym nastilom [Reinforcement a monolithic reinforced concrete floor slab profiled steel decking] Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. №4. – pp. 227.

15. Komlev A.A., Makeev S.A., Krasnoshhekov Ju.V. Ispol'zovanie sborno-monolitnyh perekrytij s nizhnej svodchatoj poverhnosťju v malozaglublennyh podzemnyh peshehodnyh perehodah [The use of precast-monolithic slabs with the lower vaulted surface is slightly deepened in underground pedestrian crossings]. Vestnik SibADI, no 4-5(56-57), 2017, pp.85 – 91.

16. Komlev A.A. Opredelenie raspornyh usilij v perekrytijah s nizhnej svodchatoj poverhnosť ju metodom konechnyh raznostej [Determination of the distance of the effort overlaps with the lower vaulted surface by the finite difference method]. Omsk, SibADI, 2012. pp.223 – 226.

17. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye

konstrukcii. Osnovnye polozhenija.

18. GOST 8267-93 Shheben' i gravij iz plotnyh gornyh porod dlja stroitel'nyh rabot. Tehnicheskie uslovija.

19. TU 1122-002-44880798-01 Profil' stal'noj holodnognutyj listovoj s trapecievidnoj formoj gofra S21-1000. Tehnicheskie uslovija.

20. GOST 5781-82 Stal' gorjachekatanaja dlja armirovanija zhelezobetonnyh konstrukcij.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Комлев Андрей Александрович – преподаватель, кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: komlev-12@ yandex.ru).

Komlev A.A. – teacher, Siberian state automobile-highway University (SibADI) Department uilding Construction (e-mail: komlev-12@yandex.ru).

Макеев Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: makeev608079@mail.ru).

Makeev S.A. – doctor of technical Sciences, professor, Siberian state automobile-highway University (SibADI) Department building (e-mail: makeev608079@mail.ru).

Краснощеков Юрий Васильевич – доктор технических наук, доцент, кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, е-mail: uv1942@mail.ru).

Krasnoshchekov Y.V. – doctor of technical Sciences, associate Professor, Siberian state utomobile-highway University (SibADI) Department building Construction (e-mail: uv1942@mail.ru).

УДК 024.21:531.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СОБСТВЕННОГО ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ОПЕРТЫХ НА РЕЗИНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ ЧАСТИ ПРИБЛИЖЕННЫМИ МЕТОДАМИ

И. Ю. Белуцкий, В.В Иовенко, А.В. Лапин

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

АННОТАЦИЯ

Расчет значения собственных частот колебаний пролетных строений пешеходных мостов имеет практическую значимость. Учитывая относительно небольшую массу пролетных строений пешеходных мостов такие факторы, как динамические воздействия, особенности конструкции опорных элементов, пренебрежение которых является нормой в классической шарнирно-стержневой модели пролетного строения, оказывают существенное влияние на динамические характеристики пролетных строений. Не учёт реальных условий опирания пролетного строения приводит к возникновению в них периода вертикальных колебаний в недопустимом интервале 0,45...0,60 с. в соответствии с СП 35.13330.2011.

В инженерной практике важную роль играют предварительные расчеты, основанные на приближенных методах. Однако существующие методики определения значений собственного периода колебаний пролетных строений, основанных на упрощениях и допущениях, имеют значительную погрешность в вычислении. В статье предлагается приближенный метод определения значений собственного периода колебаний пролетных строений, опертых на резино-металлические опорные части. В основу предлагаемого метода принята работа Белуцкого И.Ю. и Чжао Цзяня «Учет реальных условий опирания пролетных строений в создании их конечно-элементной модели», уточнена расчетная схема, получены наиболее точные аналитические выражения на основе решения дифференциального уравнения. В качестве примера рассчитано пролетное строение пешеходного путепровода на автомобильной трассе М – 60 «Уссури» Хабаровск – Владивосток участок 747 – 750 км ПК 156 + 132.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пешеходный путепровод, вертикальные колебания, продольно-поперечный изгиб, прогиб балки, круговая чистота, резино-металлическая опорная часть.

введение

Широкое применение пешеходных путепроводов как средства увеличения пропускной способности и безопасности движения транспорта связано с существующей диспропорцией в опережающих темпах развития автомобильного парка над темпами развития улично-дорожной сети, ограниченной сложившейся придорожной застройкой.

Пешеходные путепроводы требуют особого подхода к проектированию. Пролетные строения пешеходных путепроводов относительно легкие (по сравнению с автодорожными мостами), что приводит к резкому повышению чувствительности их к различным по своей природе динамическим воздействиям, а также к общепринятым в инженерных расчетах упрощениям и пренебрежениям.

Наглядным примером динамической чувствительности пешеходного пролетного строения служат результаты обследования и динамических испытаний пролетного строения пешеходного моста на ПК156 + 32 участка км747 – 750 автомобильной дороги М – 60 «Уссури» - одного из многих пешеходных путепроводов, построенных во Владивостоке [3].

По результатам обследования и испытания пролетного строения отмечено следующее:

- преимущественный тон колебаний по данным виброанализатора имеет частоту и период, изменяющиеся в пределах соответственно f = 1,766...1,780 гц, T = 0,561...0,566 с. (рис.1);

- реализация численной модели пролетного строения в ПК Лира определила период поперечных колебаний в вертикальной плоскости равный 0,623 с.;

- результат, полученный на основе аналитической зависимости T=0,618 с.

При этом результаты как численного, так и аналитического решения основаны на классической схеме опирания (на шарнирно-неподвижную одним концом и шарнирно-подвижную другим концом) пролетного строения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В публикации [1] было указано на необхо-

димость учета жесткостных параметров резиновых опорных частей в оценке характера работы пролетного строения.

Очевидно, что подключение к конструкции дополнительной связи неизбежно приведет к увеличению частоты колебаний и уменьшению периода свободных колебаний.

В публикации [2] приведены результаты адаптации численного решения пролетного строения с учетом жесткостных параметров резиновых опорных частей. РОЧ в модели представлена горизонтальным и вертикальным стержнями, моделирующими соответственно горизонтальную (сдвиговую) и вертикальную жесткости опорной части.

Для инженерной практики важное значение имеют приближенные методы определения собственных значений пролетных строений. Приведем один из алгоритмов данного решения.

Пусть для балки, опертой концами на РОЧ с вертикальной *С*^{*B*} и сдвиговой *С*^{*г*} жесткостью при симметричном загружении, как единственно неизвестная горизонтальная реакция *X*^{*n*} может быть найдена из канонического уравнения метода сил

$$\delta_{II}X_I + \Delta_{Ip} = 0. \tag{1}$$

На рисунке 2 представлены стержневая схема продольно-поперечного изгиба пролетного строения пешеходного путепровода опертого на резино-металлические опорные части.

При постоянной изгибной EJ и нормальной EA жесткости балки и с учетом симметрии схемы балки и ее нагружения оценка перемещений в направлении неизвестного X_I возможна интегрированием деформаций на половине длины балки. В таком случае коэффициент при неизвестном δ_{II} и свободный член Δ_{Ip} будут равны



Рисунок 1 – Параметры вертикальных колебаний (по одному из вибродатчиков Вибран-3.0) в середине пролетного строения пешеходного моста при динамических испытаниях [3]. Фрагмент вибродиаграммы (снизу), 1/3 октавный анализ (сверху)

Illustration 1 - Preferences of the vertical vibrations (Vibran's sensor) on the central part of the pedestrians' bridge construction while dynamic checkout

$$\delta_{II} = \frac{1}{EJ} \int_{0}^{0.5L} \overline{M}_{X1} \overline{M}_{X1} dx - \int_{0}^{0.5L} \overline{N}_{X1} \overline{N}_{X1} dx + \frac{1}{C_{\Gamma}}$$
(2)

$$\Delta_{Ip} = -\frac{1}{EJ} \int_{0}^{0.5L} M_p \overline{M}_{XI} dx .$$
(3)

- в балке изгибающий момент $\overline{M}_{XI} = y_i$ и продольное сжимающее усилие $\overline{N}_{XI} = 1$;

- сдвиговые смещения в РОЧ с площадью горизонтального сечения A_p , модулем сдвига резины G_p , суммарной высотой резиновых прослоек h_p^{P} , обуславливающих сдвиговую $C_{\Gamma} = \frac{A_P \cdot G_P}{h_P}$.

Выражение
$$\Delta_{Ip}$$
 отражает перемещение
балки в основной системе в уровне опирания
в направлении действия неизвестной горизон-
гальной реакции от действия внешней силы

P, вызывающий момент $M_p = 0.5 P x$.

обозначенных С учетом величин

$$\bar{M}_{X1}$$
, \bar{N}_{X1} , M_p , C_p

$$\delta_{11} = \frac{y_n^2 l}{2EI} + \frac{l}{2EA} + \frac{h_p}{G_p A_p},$$
 (4)



Рисунок 2 – Стержневая схема продольно-поперечного изгиба пролетного строения пешеходного путепровода опертого на резино-металлические опорные части Illustration 2 - Bar scheme of the transversive-longitudinal bending in pedestrian bridge based on the rubber-metallic piece

Выражение δ_{II} характеризует перемещение в направлении действия неизвестной горизонтальной реакции $X_I = 1$, которая формирует:

$$\Delta_{1P} = \frac{P \cdot y_n \cdot l^2}{16EI} \,. \tag{5}$$

где

P – вес балки;

I – пролет балки;

 A_p – горизонтальное сечение резины; G_n – модуль слвига резиги

_ – модуль сдвига резины;

*h*_{*ρ*} – суммарная высота резиновых прослоек;

Х, - неизвестная горизонтальная реакция от действия силы Р;

*Е*_{*п}* – модуль упругости резины;</sub>

 y^{p}_{μ} – расстояние от нейтральной оси поперечного сечения балки до направления перемещений в зоне контакта балки и опорной части:

ЕА и EI - жесткости поперечного сечения балки на растяжение и изгиб.

После раскрытия статической неопределимости получаем выражение

$$X_1 = \frac{P \cdot y_n \cdot l^2}{16EI} \div \left(\frac{y_n^2 l}{2EI} + \frac{l}{2EA} + \frac{h_p}{G_p A_p}\right).$$
(6)

Прогиб балки в середине пролета находится из выражения

$$f = \frac{2}{EJ} \int_{0}^{0.5L} M_p \overline{M}_p dx -$$

$$-\frac{2}{EA}\int_{0}^{0.5L} Fy_{n}\overline{M}_{P}dx + \frac{0.5P}{C_{B}}.$$
 (7)

В выражении (7)

 ${{ar M}}_p=0,5x$ – изгибающий момент от вертикальной единичной силы, приложенной в середине пролета:

 $C_{B} = \frac{A_{P} \cdot E_{P}}{h}$ – вертикальная жесткость опорной части с площадью горизонтального сечения A_p , модулем упругости опорной части Е_р и общей высотой h.

Принятое далее в первом приближении выражение для прогиба балки в середине пролета

$$f = \frac{pl^{3}}{48EI} - \frac{X_{1}l^{2}}{8EI} \cdot y_{n} + \frac{Ph}{2E_{p}A_{p}}$$
(8)

можно уточнить.

В случае больших значений Х,, целесообразно использовать более точный подход. Рассмотрим заданную конструкцию как балку, испытывающую продольно-поперечный изгиб, так как на нее одновременно действует осевая сжимающая сила X, и поперечная нагрузка (рис.2).

Пусть в произвольном сечении балки на расстоянии «z» от начала координат (рис.2) действует момент, равный

$$M = \frac{P}{2} \cdot z + X_1 \cdot w - X_1 \cdot y_n, \qquad (9)$$

где w – прогиб в произвольном сечении.

$$\frac{X_1}{D} = \alpha$$

Примем P, тогда приближенное дифференциальное уравнение упругой линии за пишется в виде

$$EI \frac{d^2 w}{dz^2} = -(\frac{P}{2} \cdot z + X_1 \cdot w - X_1 \cdot y_n),$$
 или

$$EI\frac{d^2w}{dz^2} = -(\frac{P}{2} \cdot z + P\alpha \cdot w - P\alpha \cdot y_n)$$
(10)

Обозначая через

$$k^2 = \frac{P \cdot \alpha}{E}$$

Получим

$$\frac{d^2w}{dz^2} + k^2 \cdot w = -k^2 \cdot \left(\frac{z}{2\alpha} - y_H\right).$$
(11)

Таким образом, имеем линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами, решение которого запишем в виде

$$w = C_1 \sin k \cdot z + C_2 \cos k \cdot z - (\frac{z}{2\alpha} - y_n) \cdot (12)$$

Постоянные интегрирования С, и С, находим из граничных условий. В нашем случае имеем:

откуда
$$C_2 = -y_n;$$

при $z = \frac{l}{2}; \frac{dw}{dz} = C_1 \cdot k \cdot \cos \frac{kl}{2}$

$$-C_2 \cdot k \cdot \sin \frac{kl}{2} - \frac{1}{2\alpha} = 0$$
, откуда

$$C_1 = -y_n \cdot tg \frac{kl}{2} + \frac{1}{2\alpha \cdot k \cdot \cos\frac{kl}{2}}.$$
 (13)

$$w_B = \frac{P \cdot h}{2E A}$$

С учетом ^{*LL*} *^P ^P* выражение для прогиба принимает вид

$$w = \left(-y_n \cdot tg \frac{kl}{2} + \frac{1}{2\alpha \cdot k \cdot \cos \frac{kl}{2}}\right).$$

$$\cdot \sin kz - y_n \cdot \cos kz - \left(\frac{z}{2\alpha} - y_n\right) + \frac{Ph}{2E_p A_p} \cdot (14)$$

Максимальный прогиб при $z = \frac{l}{2}$ булет ра-

Максимальный прогиб при 2 будет равен

$$f_{\max} = \left(-y_n \cdot tg \frac{kl}{2} + \frac{1}{2\alpha \cdot k \cdot \cos \frac{kl}{2}} \right)$$

$$\cdot \sin \frac{kl}{2} - y_n \cdot \cos \frac{kl}{2} - \left(\frac{l}{4\alpha} - y_n\right) + \frac{P \cdot h}{2E_p A_p} \cdot (15)$$

При P=1 будет $\alpha=X$; $k^2=\frac{\alpha}{EI}$ и, следовательно,

$$\overline{f}_{\max} = \left(-y_n \cdot tg \frac{kl}{2} + \frac{1}{2\alpha \cdot k \cdot \cos \frac{kl}{2}} \right)$$

$$\sin\frac{kl}{2} - y_n \cdot \cos\frac{kl}{2} - \left(\frac{l}{2\alpha} - y_n\right) + \frac{h}{2E_p A_p} \cdot (16)$$

Полученные выражения могут быть использованы для характеристики колебательного процесса сосредоточенной массы m = P/g в середине пролета невесомой балки с круговой частотой ω и периодом T свободных колебаний, равных

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{m_{np} \cdot \overline{f}}}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$
(17)

В случае равномерно распределенной массы по длине пролета выражения остаются справедливыми, если массу пролетного строения весом Q сосредоточить в середине пролета со значением

$$m_{np} = \frac{17}{35}m$$
, (18)

по мнению С.П. Тимошенко, адекватно отражающим влияние распределенных масс на параметры колебательного процесса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера рассмотрим пешеходное пролетное строение [3] со следующими характеристиками:

- расчетный пролет L = 42,0 м;

- жесткостные параметры $EJ = 5,376 \cdot 10^5$

TC·M2, $EA = 2,470 \cdot 10^6$ TC.;

расстояние от нейтральной оси поперечного сечения балки до направления перемещений в зоне контакта балки и опорной части Ун = 0,858 м;

- постоянная нагрузка *q* = 1,599 тс/м.;
- жесткостные характеристики РОЧ

горизонтальной сдвиговой

$$C_{\Gamma} = \frac{A_P \cdot G_P}{h_P} = 360 \text{ tc/m},$$

вертикальной

$$C_{B} = \frac{A_{P} \cdot E_{P}}{h} = 6,725 \cdot 10^{4} \text{ tc/m}.$$

С учетом обозначенных исходных данных, принимая во внимание две опорные части на каждой опоре при двубалочной структуре, при $P=1_{\rm KFC}$ получены

прогиб от единичной силы по (16) значение приведенной массы по (18) круговая частота по (17) период свободных колебаний по (17)

 $\overline{f} = 2,857 \cdot 10^{-4}$ см;

 $m_{np} = 3,326 \cdot 10^3 \text{ krc} \cdot \text{c}^2/\text{m};$

 $\omega = 10,259 \text{ c}^{-1};$

T = 0,612 c.

обсуждение

Отметим, что величина периода колебаний согласуется с аналитическим решением представленным в работе [1], где с учетом жесткостных параметров резиновых опорных частей получена величина периода, равная 0,610 с. Таким образом можно говорить о состоятельности предложенного алгоритма определения собственных значений пролетных строений опертых на резиновые опорные части.

Сопоставляя результат, полученный по (17), с учетом жесткостных характеристик резиновых опорных частей с результатами полученными как численно, так и аналитически для классической схемы опирания пролетного строения, можно говорить о малом различии полученных величин. Вместе с тем результаты, полученные в работе [2] и настоящей статье, подтверждают необходимость отражения реальных условий опирания пролетных строений при обосновании их конструктивных решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить актуальность полученных решений, в которых сдвиговая жесткость резиновых опорных частей обретает значительную роль и величина ее, необходимая для обеспечения требуемых параметров свободных колебаний пролетного строения, может быть найдена на основе реализации предварительных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белуцкий И.Ю., Чжао Цзянь., Учет реальных условий опирания пролетных строений в создании их конечно-элементной модели // Вестник ВСГУТУ. Улан-Удэ. 2012. № 2(37). С. 192 – 197.

2. Белуцкий И.Ю., Лапин А.В. Адаптация конечно-элементной модели пролетного строения пешеходного путепровода к реальным условиям работы сооружения. М. : НИЦ «Строительство». Строительная механика и расчет сооружений, 2017. № 5 С.28 – 31.

3. Белуцкий И.Ю., Томилов С.Н., Гришин А.И., Ловцов А.Д., Чжао Цзянь. Санаторная на участке автомобильной дороги М-60 «Уссури» Хабаровск – Владивосток на участке км 747-750 // Оценка динамических параметров пролетного строения пешеходного моста на ПК 156+32 на объекте: Реконструкция автомобильной дороги Аэропорт «Кневичи». Отчет о НИР № 06/12. Хабаровск, 2012. 40 с.

4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М. : Наука, 1967. 444 с.

5. ВСН 86-83. Инструкция по проектированию и установке полимерных опорных частей мостов / Мин-во транспортного строительства СССР. М. : Транспорт, 1983. 30 с.

6. ДЕФШОВРОЧ. Каталог продукции ООО «ДЕФШОВ-РОЧ». М. : ООО ДЕФШОВРОЧ, 30 с.

7. Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов / Министерство транспорта РФ. Государственная служба дорожного хозяйства Росавтодор. М. 2001.25 с.

8. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция», Мин. Регион, М.: ОАО «ЦНИИС», 2011. 340 с.

9. Белуцкий И.Ю., А.В. Лапин, Сим А.Д., Чжао Цзянь. Исследование напряженно-деформированного состояния и оценка возможного ввода в эксплуатацию пролетного строения пешеходного путепровода на ПК 103+90 участка КМ 733,5 – КМ 747 автомобильной дороги М-60 «Уссури» Хабаровск – Владивосток : Отчет о НИР. Хабаровск, Тихоокеан. гос. ун-т, 2014. 73 с.

10. Белуцкий И.Ю., Лапин А.В., Сим А.Д., Томилов С.Н., Чжао Цзянь. Исследование работы конструкции пешеходного моста на проспекте 60-лет Октября – остановка Юбилейная города Хабаровска и оценка его динамических и грузоподъемных параметров. Отчет о НИР. Хабаровск, Тихоокеан. гос. ун-т, 2014. 45 с.

11. Белуцкий И.Ю. Предложения по конструктивным решениям пролетного строения надземного пешеходного перехода через ул. Гоголя в г. Хабаровске. Отчет о НИР. Хабаровск, Тихоокеан. гос. ун-т. 2003. 20 с.

12. Иовенко В. В. Избранные лекции по сопротивлению материалов. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 223 с.

13. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура : учеб. пособие. Саратов : Саратовский гос. техн. ун-т, 2005. 227 с.

14. Еловский Р.Э., Люзовик С.С., Козырев С.В. Санаторная на участке автомобильной дороги М-60 «Уссури» Хабаровск – Владивосток на участке км 747-750 // Расчет пролетного строения. Пешеходный путепровод. Пролетное строение L=42,6м. «Реконструкция автомобильной дороги Аэропорт «Кневичи». НПО «Мостовик», 2010. 21 с.

15. Белуцкий И.Ю., Лапин А.В., Чжао Цзянь. Коробчатые пролетные строения пешеходных мостов с замкнутыми пространствами // Дальний Восток: Проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. № 1. С.320 – 325.

16. Белуцкий И.Ю., Лапин А.В. Особенности динамической работы пролетных строений пешеходных мостов // Дальний Восток: Проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2015. № 1. С. 263 – 270.

17. Лапин А.В. Актуальные вопросы компоновки по-

перечных сечений пролетных строений пешеходных мостов [Электронный ресурс] // Ученые заметки ТОГУ. 2015. Т. 6, № 2. С. 6 – 18. URL : http://pnu.edu.ru/media/ejournal/ articles-2015/TGU_6_66.pdf

18. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания (справочник в трех томах). М. : Машиностроение, 1968. Том 3. 567 с. 19. Смирнов А. Ф. Устойчивость и колебания сооружений. М. : Трансжелдориздат, 1958. 571 с.

20. Белуцкий И.Ю., Чжао Цзянь, Яцура В.Г. Исследование влияния надопорных связей сталежелезобетонных мостов в системе ТНПС на параметры их свободных колебаний // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Хабаровск, 2012. № 4(27). С. 79 – 86.

THE VALUES' DETERMINATION OF THE OSCILLATIONS' INTRINSIC PERIOD OF THE RUBBER-METAL SUPPORTED SPAN STRUCTURE BY APPROXIMATE METHODS.

I. Belutsky, V. lovenko, A. Lapin

ANNOTATION

The natural vibration frequencies' calculation of the pedestrian bridges' span structures is still practically valued. Such factors as dynamic effects, elements' structural features, the neglection of which is the norm in the classical hinge-rod model of the span structure, provide a significant influence on the dynamic characteristics of the longitudinal girders. Not taking into account the real conditions of the span structure supporting leads to the appearance in them of the vertical oscillations' period in an unacceptable interval of 0.45 ... 0.60 s (in accordance with SP35.13330.2011).

The appropriate preliminary calculations in engineering practice are based on approximate methods. However, the existing methods for determining the values of the oscillations' intrinsic period of the span structures, which are based on the simplifications and the assumptions, have the significant calculation error. The research suggests the approximate method for determining the values of the intrinsic oscillations' period of the span supported structures with the rubber-metal support parts. The proposed method is based on the work [1], the calculation scheme is also defined, the most accurate analytical expressions are also obtained on the differential equation solution basis. The longitudinal beams of the flyover along the M-60 «Ussuri» highway, in Khabarovsk-Vladivostok section 747-750 km of the PK 156 + 132 are calculated as an example in the research.

KEYWORDS: pedestrian overpass, vertical vibrations, longitudinal and transverse bending, beam deflection, circular cleanliness, rubber-metal support part.

REFERENCES

1. Belutsky I.Y., Zhao Jian Uchet real'nykh usloviy opiraniya proletnykh stroyeniy v sozdanii ikh konechnoelementnoy modeli [Taking into account the real conditions for supporting the span structures when creating their finite element model.]. Ulan-Ude, Vestnik VSGUTU, 2012, no 2(37) pp.192 – 197.

2. Belutsky I.Y., Lapin A.V. Adaptatsiya konechnoelementnoy modeli proletnogo stroyeniya peshekhodnogo puteprovoda k real'nym usloviyam raboty sooruzheniya. [Adaptation of the finite-element model of the span structure of the pedestrian overpass to the real working conditions of the structure]. Moscow, SIC «Construction», Construction mechanics and calculation of structures, 2017, no 5 pp. 28 – 31.

3. Belutsky I.Y., Tomilov S.N., Grishin A.I. Lovcov A.D., Chzhao Czjan'. Sanatornaja na uchastke avtomobil'noj dorogi M-60 «Ussuri» Habarovsk – Vladivostok na uchastke km 747-750 [Sanatorium in the area of highway M-60 «Ussuri» Khabarovsk – Vladivostok between km 747-750]. Ocenka dinamicheskih parametrov proletnogo stroenija peshehodnogo mosta na PK 156+32 na ob'ekte: Rekonstrukcija avtomobil'noj dorogi Ajeroport «Knevichi». [Assessment of dynamic parameters of the span pedestrian bridge to the PC 32 to 156 properties per: Reconstruction of Airport Road «Knevichi»]. Report on R & D № 06/12. Khabarovsk, 2012. 40 p.

4. Timoshenko S.P. Kolebaniya v inzhenernom dele [Vibration problems in engineering]. Moscow, Nauka, 1967. 444 p. 5. VSN 86-83 Instruktsiya po proyektirovaniyu i ustanovke polimernykh opornykh chastey mostov [Instructions for the design and installation of polymer bearings of bridges] / Ministry of Transport Construction of the USSR. Moscow, Transport, 1983. 30 p.

6. DEFSHOVROCH Katalog produktsii OOO «DEFSHOVROCH» [Products Ltd. «DEFSHOVROCH»]. Moscow, Ltd DEFSHOVROCH. 30 p.

7. Metodicheskiye rekomendatsii po vibrodiagnostike avtodorozhnykh mostov [Methodical recommendations on vibrodiagnostics of road bridges] / Ministry of Transport of the Russian Federation. State Road Service Rosavtodor. Moscow. 2001. 25 p.

8. SR 35.13330.2011 Mosty i truby. Aktualizirovannaya redaktsiya «Bridges and pipes. Actualized edition», Min. Region, Moscow, JSC» CNIIS «, 2011. 340 p.

9. Belutsky I.Yu., A.V. Lapin, Sim A.D., Zhao Jian. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i otsenki vozmozhnogo vvoda v ekspluatatsiyu proletnogo stroyeniya peshekhodnogo puteprovoda na PK 103 + 90 uchastka KM 733,5 – KM 747 avtomobil'noy dorogi M-60« Ussuri »Khabarovsk – Vladivostok [Investigation of the stressstrain state and assessment of the possible commissioning of the span structure of the pedestrian overpass on PK 103 + 90 section of KM 733.5 – KM 747 M-60 highway» Ussuri «Khabarovsk-Vladivostok»]. Khabarovsk, 2014. 73 p.

10. Belutsky I.Yu., A.V. Lapin, Sim AD, Tomilov SN, Zhao Jian. Issledovaniye raboty konstruktsiy peshekhodnogo mosta na prospekte 60-let Oktyabrya – ostanovka Yubileynaya

goroda Khabarovska i otsenka yego dinamicheskikh i gruzopod»yemnykh parametrov [Study of the work of pedestrian bridge structures on Prospekt 60-let Oktyabrya – stop Jubilee City of Khabarovsk and an assessment of its dynamic and load-lifting parameters]. Khabarovsk, 2014. 45 p.

11. Belutsky I.Yu., Predlozheniya po konstruktivnym resheniyam proletnogo stroyeniya nadzemnogo peshekhodnogo perekhoda cherez ul. Gogolya v g. Khabarovske [Proposals for constructive solutions of the span structure of an overground pedestrian crossing through the street. Gogol in the city of Khabarovsk]. 2003. 20 p.

12. lovenko V.V., Izbrannyye lektsii po soprotivleniyu materialov [Selected lectures on the resistance of materials], Khabarovsk, Publishing house of the Pacific State University, 2016. 223 p.

13. Ovchinnikov I.G., Dyadchenko G.S. Peshekhodnyye mosty: konstruktsiya, stroitel'stvo, arkhitektura [Pedestrian bridges: construction, construction, architecture]. [Textbook]. Saratov, Saratov State University. tech. University, 2005. 227 p.

14. Yelovskiy R.E., Lyuzovik S.S., Kozyrev S.V. Sanatornaya na uchastke avtomobil'noy dorogi M-60 «Ussuri» Khabarovsk – Vladivostok na uchastke km 747-750 [Sanatorium on the section of the highway M-60 «Ussuri» Khabarovsk - Vladivostok on the section km 747-750]. Raschet proletnogo stroyeniya. Peshekhodnyy puteprovod. Proletnoye stroyeniye L=42,6m. «Rekonstruktsiya avtomobil'noy dorogi Aeroport «Knevichi» [Calculation of span structure. Pedestrian overpass. The span structure is L = 42.6 m. «Reconstruction of the highway «Airport Knevichi»]. RPA «Mostovik», 2010. 21p.

15. Belutsky I.Yu., Lapin A.V., Zhao Jian. Korobchatyye proletnyye stroyeniya peshekhodnykh mostov s zamknutymi prostranstvami [Boxed span structures of pedestrian bridges with enclosed spaces]. Dal'nij Vostok: Problemy razvitija arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa [Far East: Problems of the development of the architectural and construction complex], Khabarovsk; TOGU, 2015. No 1. pp. 320 – 325.

16. Belutsky I.Yu., Lapin A.V. Osobennosti dinamicheskoy raboty proletnykh stroyeniy peshekhodnykh mostov. [Features of the dynamic operation of span structures of pedestrian bridges]. Dal'nij Vostok: Problemy razvitija arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa [Far East: Problems of the development of the architectural and construction complex], Khabarovsk; TOGU, 2015. No 1. pp. 263 – 270.

17. Lapin A.V. Aktual'nye voprosy komponovki poperechnyh sechenij proletnyh stroenij peshehodnyh mostov [Actual problems of the layout of cross sections of span structures of pedestrian bridges]. Uchenye zametki TOGU,

[Jelektronnyj resurs], 2015, vol. 6, no 2, pp. 6 – 18. URL http:// pnu.edu.ru/media/ejournal/ articles-2015 / TGU_6_66.pdf.

18. Birger I.A., Panovko Ya.G. Prochnosť, ustoychivosť, kolebaniya. Spravochnik v trekh tomakh. [Strength, stability, vibrations. Handbook in three part.]. Moscow, Mechanical engineering, vol. 3. 1968. 567 p.

19. Smirnov A.F. Ustoychivost' i kolebaniya sooruzheniy. [Stability and oscillations of structures]. Moscow, Transzheldorizdat, 1958. 571 p.

20. Belutsky I.Yu., Zhao Jian, Yatsura V.G. Issledovaniye vliyaniya nadopornykh svyazey stalezhelezobetonnykh mostov v sisteme TNPS na parametry ikh svobodnykh kolebaniy [Investigation of the effect of pressure bonds of composite steel bridges in the TNPS system on the parameters of their free oscillations]. Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta, Khabarovsk, 2012, no 4(27), pp. 79 – 86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белуцкий Игорь Юрьевич (г. Хабаровск, Россия) – доктор технических наук, профессор, кафедра автомобильных дорог, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136).

Belutsky Igor Yuryevich (Khabarovsk, Russia) – doctor of technical Sciences, professor, Department of Highways, FGBOU VO «Pacific State University» (680035, Russia, Khabarovsk, st. Pacific, 136).

Иовенко Владимир Васильевич (г. Хабаровск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, кафедра автомобильных дорог, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136).

Yovenko Vladimir Vasilievich (Khabarovsk, Russia) – candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Highways, FGBOU VO «Pacific State University» (680035, Russia, Khabarovsk, st. Pacific, 136).

Лапин Артем Васильевич (г. Хабаровск, Россия) – старший преподаватель, аспирант, кафедра автомобильных дорог, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, e-mail: tema_s14@mail.ru).

Lapin Artem Vasilievich (Khabarovsk, Russia) – lecturer, post-graduate student, Department of Highways, FGBOU VO «Pacific State University» (680035, Russia, Khabarovsk, st. Pacific, 136, e-mail: tema_s14@mail.ru).

УДК 625.731.812

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ УПРУГОГО ПРОГИБА ДИСКРЕТНОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

С.А. Матвеев, Е.А. Мартынов, Н.Н. Литвинов ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Активное внедрение в дорожное строительство геосинтетических материалов в качестве армирующих конструктивных элементов дорожных одежд сдерживается отсутствием научно обоснованной и экспериментально подтвержденной теории расчета дорожных одежд с армирующими слоями. В работе исследуется влияние армирования на величину упругого прогиба