

6. Кадисов, Г.М. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / Г.М.Кадисов. - М.: изд АСВ, 2007. - с. 272.
7. Огибалов, П.М. Изгиб, устойчивость и колебания пластинок [Текст] / П.М.Огибалов. – М.: Изд. МГУ, 1958. - С.389.
8. Тимошенко, С. Р. Пластины и оболочки [Текст] / С.Р.Тимошенко, С.Войовский-Кригер. – М.: Изд. Наука, Физ-мат лит., 1966. - с.635.
9. Кусаинов, А.А. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / А.А. Кусаинов, С.Х. Достанова, И.М. Полякова. -Алматы: 2016. - 265 с.
10. Достанова, С.Х. Математические и механические модели динамического состояния мостовых пролетов [Текст] / Сборник материалов МНПК Актуальные проблемы и перспективы развития строительства: инновации, модернизация и энергоэффективность // С.Х. Достанова, М.К. Наурызбаев, Р.Ж.Тулеушова. – Алматы: Изд. строитель и архитектор, 2017. – с. 199-203.
11. Достанова С.Х. Динамические модели мостовых пролетов [Текст] / Труды Международной научно-практической конференции «Современные тренды в архитектуре и строительстве: энергоэффективность, энергосбережение, BIM технологии, проблемы городской среды», 26-27 мая 2021 // С.Х.Достанова, З.Калпенова. – Алматы: - с. 148-153.

УДК 625.7, 624.21(691)

**З.Т.Калпенова<sup>1</sup>, С.Х. Достанова<sup>1</sup>, С.Б.Шаяхметов<sup>1</sup>, К.Е.Токпанова<sup>2</sup>, Г.Т. Касимова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Сатпаев университети, <sup>2</sup>Евразия технология университети, <sup>3</sup>Казакстан башкы архитектар курулуш академиясы  
Алматы, Казакстан

<sup>1</sup>Сатпаев Университет, <sup>2</sup>Евразийский технологический университет, <sup>3</sup>Казахская головная архитектурно-строительная академия  
Алматы, Республика Казахстан

**Z.T.Kalpenova<sup>1</sup>, S.Kh. Dostanova<sup>1</sup>, S.B. Shayakhmetov<sup>1</sup>, K.E. Tokpanova<sup>2</sup>, G.T. Kasimova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Satpayev University, <sup>2</sup>Eurasian Technological University, <sup>3</sup>Kazakh Head Academy of Architecture and Civil Engineering  
Almaty, Republic of Kazakhstan

zauze.kalpenova@mail.ru [dostanova0109@mail.ru](mailto:dostanova0109@mail.ru) s.shayakhmetov@satbayev.university  
[kamila1907@mail.ru](mailto:kamila1907@mail.ru) kasimova\_63@mail.ru

## **ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НЕСУЩИХ ПРОДОЛЬНЫХ БАЛОК ТРАНСПОРТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

## **ТРАНСПОРТ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫН ПАЙЫН ТИРЕГЕН УЗАТА БАЛКАЛАРЫНЫН ТУУРАСЫНАН ТЕРМЕЛИШИ**

## **TRANSVERSE VIBRATIONS OF LOAD-BEARING LONGIYUDINAL BEAMS OF TRANSPORT STRUCTURES**

*Транспорттук конструкциялардын коопсуздугу жана ишенимдүүлүгү алардын динамикалык мүнөздөмөлөрүнөн көз каранды, алар бышыктык жана күч ресурсуна таасир этет. Бул изилдөөлөрдүн максаты ар кандай интерфейстердеги транспорттук конструкциялардын жүк көтөрүүчү устундарынын динамикалык мүнөздөмөлөрүн таяныч байланыштары менен так аныктоо үчүн моделдерди жана алгоритмдерди иштеп чыгуу болуп саналат. Эсептөө схемасы жана математикалык моделдери иштелип чыккан.*

*Аналитикалык жана сандык эсептөөлөрдү, ошондой эле аспаптык өлчөө маалыматтарын колдонуу менен магистралдардын эстакадаларынын темир бетон устундарынын конструкцияларынын динамикалык эсептөөлөрүнүн натыйжалары келтирилген. Жол өткөөлүнүн мисалында туурасынан жана узунунан термелүүлөрдүн өздук жыштыктарынын маанилери алынган, ошондой эле кыймылдуу жүктөрдүн таасири астында аргасыз термелүүлөр да каралган. Эстакаданын устундар конструкцияларынын чыңалуу деформациялык абалына баа берүү жана көтөрүү жөндөмдүүлүгү боюнча сунуштар берилген.*

**Түйүндүү сөздөр:** эркин жана мажбурланган термелүүлөр, балкалар(устундар), модель, эсептөө ыкмасы, жыштыктар, эстакада.

*Безопасность и надежность транспортных конструкций зависит от их динамических характеристик, которые влияют на резерв прочности и жесткости. Целью данных исследований является разработка моделей и алгоритмов для более точного определения динамических характеристик несущих балок транспортных конструкций при различных сопряжениях с опорными связями. Разработаны расчетная схема и математические модели. Представлены результаты динамического расчета железобетонных балочных строений автодорожных путепроводов с использованием аналитических и численных расчетов, а также данные инструментальных измерений. Получены значения собственных частот поперечных и продольных колебаний на примере автодорожного путепровода, а также рассмотрены вынужденные колебания под действием подвижных нагрузок. Дана оценка напряженно-деформированного состояния балочных строений путепровода и рекомендации по несущей способности.*

**Ключевые слова:** свободные и вынужденные колебания, балки, модель, метод расчета, частоты, путепровод.

*The safety and reliability of transport structures depends on their dynamic characteristics, which affect the reserve of strength and rigidity. The purpose of these studies is to develop models and algorithms for more accurately determining the dynamic characteristics of load-bearing beams of transport structures at various interfaces with support connections. A calculation scheme and mathematical models have been developed. The results of dynamic calculations of reinforced concrete beam structures of highway overpasses using analytical and numerical calculations, as well as instrumental measurement data are presented. The values of the natural frequencies of transverse and longitudinal vibrations on the example of a road overpass are obtained, and forced vibrations under the influence of moving loads were also considered. An assessment of the stress-strain state of the beam structures of the overpass and recommendations for bearing capacity are given.*

**Key words:** free and forced vibrations, beams, model, calculation method, frequencies, overpass.

**Введение.** Многие существующие в настоящее время в Казахстане автодорожные путепроводы устарели и требуют тщательного исследования их несущей способности. Особенно это касается таких мегаполисов, как Алматы, Астана и Шымкент. Причиной является постоянно возрастающая интенсивность движения и высокая грузоподъемность. До настоящего времени учет динамического воздействия транспортных средств на мосты в нормативных документах проводится на основании обобщения экспериментальных данных [1-4]. Аналитические методы исследования поведения сложных конструкций (мостов, путепроводов, эстакад), включающих в себя большое число разнотипных элементов, при воздействии на них подвижной нагрузки развиты ещё недостаточно. Данные экспериментальных исследований не дают возможность прогнозировать поведение конструкции при изменяющихся параметрах системы. В настоящее время постоянно усиливаются требования безопасности при возведении и эксплуатации транспортных

конструкций, особенно это касается несущих элементов, таких, как балки пролетных строений. Результаты статических расчетов резко отличаются от динамических расчетов. Во избежание резонанса необходимы точные данные по динамическим характеристикам, в инженерных расчетах в основном учитывают только основную частоту, хотя в действительности максимальные амплитуды колебаний могут соответствовать более высоким формам колебаний. Это является причиной для дальнейшего развития и уточнения аналитических и численных методов исследований несущих элементов и соответствия их реальному процессу колебаний.

**Цель исследования.** Для определения фактического технического состояния конструкций и наиболее эффективной оценки надежности конструкций мостов и установления соответствия между расчетной схемой и действительной работой сооружений, на магистральных линиях Республики Казахстан, необходимо осуществлять периодический мониторинг напряженно-деформированного состояния сооружений под эксплуатационными нагрузками с применением программно-аппаратных комплексов.

Надежность и прочность транспортных сооружений зависит от множества факторов и инженерных решений, среди которых важное значение имеет точность теории, соответствие принятых моделей и методов расчета [1-6]. Особенно это касается динамики, т.к. в процессе движения появляются значительные инерционные силы соизмеримые со статической нагрузкой. Одним из важных этапов динамического расчета является определение собственных форм колебаний и соответствующих им частот [5-8], т.к. нормальная работа всех сооружений должна проходить вне резонансной зоны. Целью данной работы является исследование влияния динамических характеристик несущих элементов путепровода на резерв динамической прочности и безопасности всей системы в целом. В дальнейшем задачей исследования является определение динамических характеристик несущих балок пролетных строений путепровода при различных сопряжениях с опорными конструкциями и их влияние на несущую способность. Для принятых расчетных схем разработаны математические модели, приведены результаты численного и аналитического расчетов и данные инструментальных измерений.

**Методы исследования.** Наиболее важным элементом конструкций являются несущие балки. Рассмотрены следующие расчетные схемы и математические модели несущих продольных балок путепровода [5-6, 9]:

**1 модель** – свободные поперечные колебания

Рассматривается система с бесконечным числом степеней свободы. Дифференциальное уравнение поперечных колебаний балки с распределенной массой без учета сил сопротивления и его решение имеют вид (1,2):

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

В (1)  $y$ -прогибы,  $EI$ - жесткость сечения несущих балок на изгиб,  $m(x)$ - погонная масса. Решение уравнения имеет следующий вид:

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} (A \operatorname{ch}(s_k x) + B \operatorname{sh}(s_k x) + C \operatorname{Cos}(s_k x) + D \operatorname{Sin}(s_k x)) \cdot (A_k \operatorname{Sin} \omega_k t + B_k \operatorname{Cos} \omega_k t) \quad (2)$$

В уравнении (1) величина  $m$  представляет погонную массу сооружения, коэффициенты  $A, B, C, D$  определяются из граничных условий, коэффициенты  $A_k, B_k$  из начальных условий. Из граничных условий, получаем систему четырех однородных алгебраических уравнений относительно неизвестных  $A, B, C, D$ . Полагая детерминант системы нулю, получаем трансцендентное уравнение относительно неизвестной величины собственных частот колебаний  $\omega$ :

$$F(\lambda_k) = 0$$

$$\lambda_k = s_k l, \quad s_k = \sqrt[4]{\frac{m\omega_k^2}{EI}}$$

$l$  – длина стержня

Из трансцендентного уравнения для  $k$ -ой формы колебаний получена следующая формула для собственных частот  $\omega$ :

$$\omega_1 = \frac{k\pi}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

Коэффициент  $k$  определяется формой колебания и граничными условиями. С учетом сил сопротивления дифференциальное уравнение поперечных колебаний балки с распределенной массой имеет вид:

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial y^2} + 2 \alpha \frac{\partial y}{\partial t} + \omega^2 y = 0$$

$$\alpha = \frac{\delta \omega}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}}$$

$\delta$ - логарифмический декремент затухания.

Круговая частота с учетом сил сопротивления определяется по формуле:

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 + (\alpha\omega)^2}$$

$\omega$ - частота свободных колебаний без учета сил сопротивления

**2 модель-вынужденные поперечные колебания.** Рассмотрим вынужденные колебания продольных балок пролетных строений, вызванные движущимся транспортом [5-6, 9]. Если на балку с равномерно-распределенной массой  $m$  действует внешняя нагрузка, которая изменяется по гармоническому закону:

$$F(x,t) = P \sin \theta t, \quad (3)$$

где  $\theta$ - частота,  $P$ - амплитудное значение внешней сосредоточенной нагрузки, то дифференциальное уравнение поперечных колебаний и его решение имеют вид:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = P \sin \theta t, \quad (4)$$

$$y = y_o + y_{\text{вн}} \text{ част}$$

В (4)  $y(x,t)$ -прогибы,  $EI$ - жесткость сечения несущих балок на изгиб,  $m(x)$ - погонная масса. Рассмотрим установившиеся вынужденные колебания балки ( $y_o=0$ ), полагая, что перемещения представляют гармонические колебания с частотой  $\theta$ , т.е.

$$y(x, t) = y(x) \sin \theta t, \quad \text{где } y(x) \text{ – неизвестная функция.}$$

Для амплитудного состояния ( $\sin \theta = 1$ ) уравнение (3) имеет вид:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{m\theta^2}{EI} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{P}{EI}, \quad u = l^4 \sqrt{\frac{m\theta^2}{EI}} = kl, \quad k = \sqrt[4]{\frac{m\theta^2}{EI}}, \quad (5)$$

Решение уравнения (5) запишем в общем виде:

$$Y(x) = C_1 \text{Sink}x + C_2 \text{Cos}kx + C_3 \text{Sh}kx + C_4 \text{Ch}kx \quad (6)$$

Произвольные постоянные  $C_i$  ( $i = 1,2,3,4$ ) должны быть определены из граничных условий закрепления балки. При рассмотрении движущегося транспорта, внешнюю нагрузку можно представить как изменяющуюся по гармоническому закону с частотой  $\theta$ , т.е. ее действие можно описать в виде:

$$P = F_0 \sin\left(\frac{\pi t}{T_0}\right), \quad (7)$$

где  $F_0$  – колесная нагрузка, распределенная по площади круга диаметра  $D$ ,  $T_0 = \frac{D}{V}$ ,  $V$  –

скорость горизонтального движения нагрузки,  $t$  – текущее время. Обозначая отношение  $\pi/T_0$  через  $\theta$ , тогда внешнюю нагрузку можно представить в виде:  $F = F_0 \sin(\theta \cdot t)$ , где  $\theta$  – частота колебаний внешней нагрузки. Рассматривая чисто вынужденные колебания балок, предполагаем, что деформации и внутренние усилия в них изменяются так же по гармоническому закону с частотой  $\theta$ . Амплитудные значения нормальных инерционных сил определяются по формуле:

$$I = \frac{\gamma \theta^2 w h}{g}, \quad (8)$$

где  $\gamma$  – удельный вес материала балок,  $g$  – ускорение свободно падающего тела,  $w=y$  – прогибы. При  $D=0,5$  м,  $V=20,2$  м/с, частота  $\theta=125,6$  гц.

Подвижную нагрузку можно представить в виде следующей схемы, представляющей связку сил (Рисунок2).

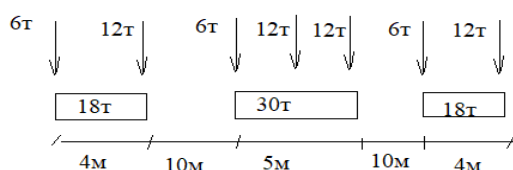


Рисунок 1 - Связка сил

Изгибающие моменты в пролетах определяются по линиям влияния:  $M = \sum_1^n u_i \cdot P_i$ , где  $u_i$  – ординаты в линии влияния под нагрузкой  $P_i$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Результаты исследования представлены на примере автодорожного путепровода. Рассмотрен динамический расчет продольных балочных строений путепровода с использованием аналитического и численного методов и инструментальных измерений [6,10]. Расчетная схема путепровода – разрезные балки, загруженные постоянной нагрузкой от веса плиты пролетного строения и временной нагрузкой от движущегося транспорта. Представлены различные модели сопряжений главных балок с опорными конструкциями. Определены частоты собственных поперечных колебаний, динамические и статические усилия и перемещения для сопряжений, сделана оценка напряженно-деформированного состояния путепровода. На Рисунок 2 представлен общий вид трехпролетного путепровода.

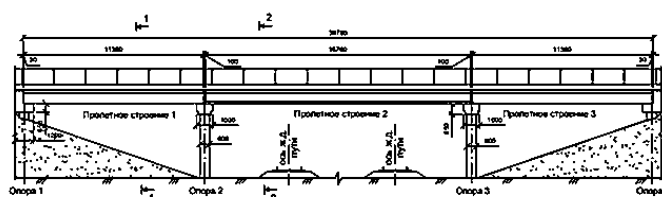


Рисунок 2 - Общий вид путепровода

Пролетное строение – железобетонное, трехпролетное, пролетное строение №1 и №3 состоит из тавровых железобетонных балок длиной 11,36 м, выполненные по типовому проекту «Вариант конструкций железобетонных сборных пролетных строений без диафрагм с каркасной арматурой периодического профиля. Пролетное строение №2 состоит из сборных двутавровых балок длиной 16,76 м, выполненные по типовому проекту «Пролетные строения из двутавровых струнотонных балок со сварными стыками диафрагм. Аналитический метод основан на методах строительной механики как системы с распределенной массой и системы с конечным числом степеней свободы [3].

В таблице 1 приведены значения собственных частот для несущих балок пролетных строений путепровода, полученные аналитическим методом с учетом и без учета сил сопротивления для 1-ой модели. Учет затухания увеличивают значения собственных частот и уменьшают периоды колебаний [7-10].

Таблица 1 - Значения собственных частот для несущих балок пролетных строений путепровода, полученные аналитическим методом с учетом и без учета сил сопротивления

| № пролета                                | Условия закрепления       | Частота $\omega_1$ | Частота $\omega_2$ |
|--|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Без учета затухания / С учетом затухания |                           |                    |                    |
| 1,3                                      | Заделка с двух сторон     | 16,5 / 17,16       | 18,5 / 19,24       |
| 1,3                                      | Два конца шарнирно-оперты | 6,55 / 6,81        | 9,48 / 9,87        |
| Без учета затухания / С учетом затухания |                           |                    |                    |
| 2  | Заделка с двух сторон     | 12,61 / 13,11      | 16,2 / 17,0        |
| 2  | Два конца шарнирно-оперты | 5,85 / 6,08        | 7,8 / 8,11         |

Регистрация колебаний в процессе испытаний и обработка опытных данных осуществлялась с помощью многофункционального измерительного комплекса «Тензор МС» (s/n 0170109).

В таблице 2 приведены значения собственных частот для несущих балок пролетных строений путепровода, полученные инструментальными измерениями и аналитическим методом с учетом сил сопротивления. Неупругие силы сопротивления учитывают с помощью коэффициента демпфирования. Демпфирование для железобетонных несущих конструкций задавалось по Релею. Логарифмический декремент для железобетонной балки  $\delta = 0,3$ . Коэффициент неупругого сопротивления  $\gamma = \delta\omega$ , где  $\delta = (2\pi) \cdot 0,05$ ,  $\omega$  – первая частота.

Таблица 2 - Значения собственных частот для несущих балок пролетных строений путепровода, полученные инструментальным путем и аналитическим методом

| № пролета | Условия закрепления                                   | Частота $\omega_1$ , гц |  | Частота $\omega_2$ , гц |  |
|-----------|---|-------------------------|--|-------------------------|--|
|           |   | Инструм. / аналит.      |  | Инструм. / аналит.      |  |
| 1,3       | Заделка с одной стороны и шарнирное опирание с другой | 15,0/15,55              |  | 18,0/18,75              |  |
| 2         | Заделка с одной стороны и шарнирное опирание с другой | 11,5/12,05              |  | 16,5/16,8               |  |
| 1,3       | Два конца шарнирно-оперты                             | 6,35/6,81               |  | 10,64/9,87              |  |
| 2         | Два конца шарнирно-оперты                             | 5,96/6,08               |  | 7,8/8,11                |  |

На рисунке 3 представлены графики колебаний и спектр частот балок пролетных строений (пролеты №1, №2) при проезде автомобиля, весом  $P=12$ т, полученные инструментальными измерениями.

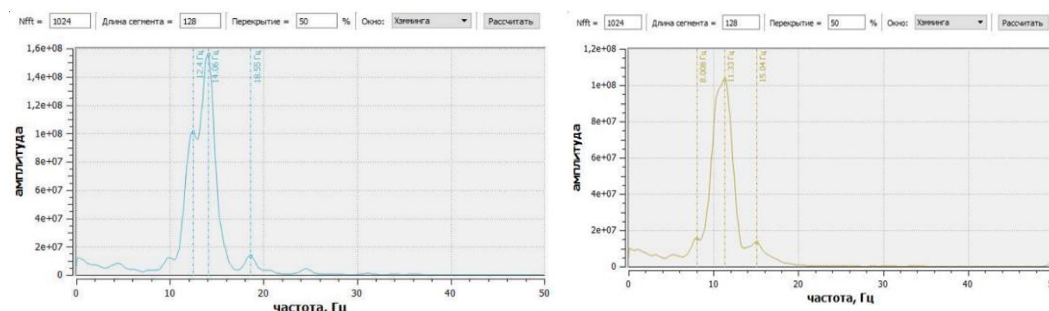


Рисунок 3 - Графики колебаний и спектр частот балок пролетных строений №1 и №2 при проезде автомобиля

**2 модель.** Для поперечных колебаний определяется динамический коэффициент, показывающий отношений динамических усилий и деформаций к их статическим значениям.  $\mu$ - динамический коэффициент для подвижной нагрузки определяется по следующей формуле:

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{vl}{\pi} \sqrt{\frac{m}{EI}}} = \frac{1}{1 - \frac{v}{\omega} \cdot \frac{\pi}{l}}$$

v- скорость подвижной нагрузки.

Для крайних балок пролетного строения при скорости подвижной нагрузке  $v=20,2$  м/с динамический коэффициент равен 1,315. Для среднего пролетного строения при скорости подвижной нагрузке  $v=20,2$  м/с динамический коэффициент равен 1,43.

В таблице (3) приведены максимальные значения изгибающих моментов и нормальных напряжений в сечениях несущих балок пролетного строения при статических и динамических воздействиях (Рисунок 1).

Таблица 3 - Максимальные значения изгибающих моментов и нормальных напряжений в сечениях балок пролетного строения при статических и динамических воздействиях

| Усилия                           | 1 пролет | 2 пролет | 3 пролет |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| тм. т/м <sup>2</sup>             | L=11,36м | L=16,76м | L=11,36м |
| Статический расчет               |          |          |          |
| (Mс) <sub>max</sub>              | 74,28    | 131,04   | 74,28    |
| (σ <sub>с</sub> ) <sub>min</sub> | -758     | -1409    | -758     |
| (σ <sub>с</sub> ) <sub>max</sub> | 1954,7   | 3448,41  | 1954,7   |
| Динамический расчет              |          |          |          |
| (Mс) <sub>max</sub>              | 97,6     | 187,39   | 97,6     |
| (σ <sub>с</sub> ) <sub>min</sub> | -996,77  | -2014,87 | -996,77  |
| (σ <sub>с</sub> ) <sub>max</sub> | 2175,93  | 4931,23  | 2175,93  |

В таблице 4 приведены значения максимальных прогибов в балках пролетного строения  $W_{max}$  при различных сопряжениях с опорными конструкциями без и с учетом сил сопротивления.

Таблица 4 - Значения максимальных прогибов в главных балках пролетного строения при различных сопряжениях с опорными конструкциями без и с учетом сил сопротивления

| № пролета                                | Условия закрепления       | $W_{max}$ [м] |
|--|---------------------------|---------------|
| Без учета затухания / С учетом затухания |                           |               |
| 1,3                                      | Заделка с двух сторон     | 0,051 / 0,048 |
| 1,3                                      | Два конца шарнирно-оперты | 0,072 / 0,056 |
| Без учета затухания / С учетом затухания |                           |               |
| 2  | Заделка с двух сторон     | 0,071 / 0,66  |
| 2  | Два конца шарнирно-оперты | 0,089 / 0,76  |

В соответствии с требованиями норм СП РК 3.03-112-2013 “Мосты и трубы” в пролетных строениях городских мостов расчетные периоды собственных колебаний по двум низшим формам (в балочных разрезных системах – по одной низшей форме) не должны быть от 0,45 до 0,60 сек. в вертикальной плоскости, что соответствует собственным частотам в диапазоне от 10 до 14 гц. Это соответствует случаю: заделка с одной стороны и шарнирное

опирание с другой. Результаты по внутренним усилиям и деформациям не соответствуют нормам эксплуатации по несущей способности, для усиления необходимы замены балок пролетных строений на обладающие необходимой грузоподъемностью для пропуска современных и перспективных нагрузок, особенно это касается 2-го пролета. Результаты теоретических исследований и данные экспериментальных данных говорят о соответствии принятых расчетных моделей. Собственные частоты, полученные теоретически несколько завышены в сравнении с экспериментальными данными, это объясняется тем, что принятые модели являются более жесткими в сравнении с реальными.

**Выводы.** По результатам аналитических расчетов и инструментальным измерениям можно сделать следующие выводы:

1. При динамическом расчете балок пролетных строений путепроводов напряженно-деформированное состояние зависит от конструктивных особенностей сопряжений балок с опорными конструкциями. С увеличением жесткости соединений с опорными конструкциями напряжения и деформации уменьшаются от 5-15%.
2. Для усиления несущей способности путепроводов необходимо совершенствовать расчетные модели, регулировать скорости и интенсивность подвижной нагрузки, во избежания резонанса контролировать частоты и использовать для расчета современные более точные методы расчета.
3. Необходимо учитывать изменение жесткости пролетных соединений, не допускать появления резонансных частот, постоянный мониторинг за техническим состоянием путепровода и своевременным усилением пролетных строений.

### Список литературы

1. Ахоров, Ш. А. Повышение долговечности железобетонных мостовых сооружений (первичная и вторичная защита) [Текст] / Ш.А.Ахоров, И.И. Овчинников И. И. // Вестник Евразийской науки. — 2022 №3. — [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/24SAVN322.pdf>.
2. Труфанова, О.И. Анализ факторов, влияющих на надежность и технические характеристики железобетонных путепроводов [Текст] / О.И. Труфанова, Л.В.Феськова // Мосты та тунелі теория, дослідження, практика. – Днепропетровск: 2015. - №7. - С. 1-9.
3. Лазарев, И.В. Расчетно-теоретическое обоснование конструктивных предложений по восстановлению потребительских свойств пролетных строений железобетонных мостов [Текст] / И.В.Лазарев. – Хабаровск: ТГУ, 2019. - С. 219.
4. СП РК 3.03-112-2013 “Мосты и трубы”. - Алматы, 2015. - [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=33307481](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33307481)
5. Кадисов, Г.М. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / Г.М.Кадисов. - М.: изд АСВ, 2007. - с. 272.
6. Кусаинов, А.А. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] /А.А. Кусаинов, С.Х. Достанова, И.М.Полякова. – Алматы: 2016. - 265 с.
7. Dostanova S.Kh., Isakhanov E.A., Makish N.K. Influence of soil conditions on the degree of damage to buildings during an earthquake near Almaty Proceeding 6<sup>TH</sup> International Geotechnical symposium on Disaster Mitigation Special Geoenvironmental Conditions. ИТ, Madras, Chennai, India, 2015.- 125-129pp.
8. Dostanova S.Kh., Isakhanov E.A., Makish N.K. Influence of soil conditions on the degree of damage to buildings during an earthquake near Almaty Proceeding 6<sup>TH</sup> International Geotechnical symposium on Disaster Mitigation Special Geoenvironmental Conditions. ИТ, Madras, Chennai, India, 2015.- 125-129pp.
9. Достанова, С.Х. Математические и механические модели динамического состояния мостовых пролетов [Текст] / Сб мат. МНПК Актуальные проблемы и перспективы развития строительства: инновации, модернизация и энергоэффективность / С.Х.

Достанова, М.К. Наурызбаев, Р.Ж.Тулешова. – Алматы: Издательство Строитель и архитектор, 2017. – с.199-203.

10. Достанова, С.Х. Динамические модели мостовых пролетов [Текст] / Тр. Международной научно-практической конференции «Современные тренды в архитектуре и строительстве: энергоэффективность, энергосбережение, BIM технологии, проблемы городской среды» / С.Х. Достанова, З. Калпенова. – Алматы: 2021. – с.148-153.

УДК 69.04

**Е.С. Кецко<sup>1</sup>, И.С. Кузина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Курулуш физикасы илимий изилдөө институту, (НИИСФ РААСН)

<sup>2</sup>Москва мамлекеттик улуттук илим изилдөөчү курулуш университети (НИУ МГСУ)

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Москва, Россия

**E.S. Ketsko<sup>1</sup>, I.S. Kuzina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Research Institute of Building Physics (NIISF RAASN)

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

Moscow, Russia

[kkuzina@mail.ru](mailto:kkuzina@mail.ru) <sup>2</sup>[ms.kuzina01@mail.ru](mailto:ms.kuzina01@mail.ru)

## РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕВОЛОКНОМ

### ИЙИЛҮҮЧҮ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ КӨМҮР БУЛАСЫ МЕНЕН БЕКЕМДӨӨНҮН ЭСЕПТИК НЕГИЗДЕМЕСИ

### DESIGN JUSTIFICATION OF REINFORCEMENT OF BENDING STRUCTURES WITH CARBON FIBRE

*Макалада административдик имараттын 5-кабатынын ригелдерин "Г/14-16" оғунда изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилген, 5-кабаттын ригелдерине реалдуу колдонуудагы жүктөмдөр аныкталган; текшерүү эсептөөлөрдүн жыйынтыгы боюнча изилденген конструкцияларды күчөтүү зарылдыгы аныкталган; имараттын изилденүүчү конструкцияларын күчөтүү боюнча сунуштар иштелип чыккан. Авторлор тарабынан изилденип жаткан конструкцияларды көмүр буласынын негизиндеги композиттер менен күчөтүү маселелери каралды. Көмүр буласынын негизинде композиттер менен бекемделген ригелди эсептөө ыкмасы сунушталды.*

**Түйүндүү сөздөр:** көмүртек буласы, ийилүүчү дизайн, туюк болт, арматура, көтөрүү жөндөмдүүлүгү, кесилиши.

*В статье приведены результаты обследования ригелей 5-го этажа административного здания в осях "Г/14-16", определены реальные действующие нагрузки на ригеля 5-го этажа; определена необходимость усиления обследованных конструкций по результатам поверочных расчетов; разработаны рекомендации по усилению обследуемых конструкций здания. Авторами рассмотрены вопросы усиления обследуемых конструкций композитами на основе углеволокна. Представлена методика расчета ригеля, усиленного композитами на основе углеволокна.*

**Ключевые слова:** углеволокно, изгибаемая конструкция, ригель, армирование,