

М.Я. Квашнин¹, И.С. Бондарь¹, С.С. Хасенов¹, Г.С. Бихожаева^{1*}

¹ Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

*Corresponding author: gulmira_180866@mail.ru

Информация об авторах:

Квашнин Михаил Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashin_mj55@mail.ru

Бондарь Иван Сергеевич – кандидат технических наук, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-2186-9982>, email: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Хасенов Серик Сатыбаевич - доктор технических наук, профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5740-8881>, email: sake-56@mail.ru

Бихожаева Гульмира Сагатовна - кандидат технических наук, доцент, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-9239-7433>, email: gulmira_180866@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕПРОВОДОВ

Аннотация. В данной работе приведены некоторые результаты инструментальных измерений динамических коэффициентов и фибровых напряжений железобетонных балочных пролётных строений железнодорожных путепроводов под подвижной нагрузкой. Полученные результаты могут использоваться для дальнейшего мониторинга за подобными сооружениями на магистральных железнодорожных линиях Республики Казахстан, для выявления повреждений в конструкциях мостов.

Ключевые слова: железнодорожный путепровод, балочные пролетные строения, фибровые напряжения, динамический коэффициент.

Введение. Динамические коэффициенты определяются, как правило, для тех конструкций, по которым перемещаются подвижные нагрузки, например железнодорожные составы. Определяемые расчетным путем напряжения и деформации от динамических нагрузок суммируются с напряжениями и деформациями от статических нагрузок.

При проектировании динамический коэффициент определяют теоретически с рядом допущений или же используют динамические коэффициенты, полученные экспериментально для аналогичных сооружений, ранее построенных [1]. Для мостов такие определения динамических коэффициентов ведутся много лет и накоплен достаточно богатый опытный материал.

Определение напряжений в конструкции от динамической нагрузки можно также произвести с помощью тензорезисторов, наклеенных в тех местах, где необходимо найти эти напряжения, и просуммировать их с напряжениями от статической нагрузки. При таком определении напряжений надо знать величину модуля упругости материала конструкции.

Вибрационные колебания конструкции непрерывно меняют величину суммарного напряжения. В большинстве случаев знаки напряжений остаются постоянными, так как напряжения от статической нагрузки преобладают над напряжениями от динамической нагрузки. Однако, иногда возможны случаи, когда сумма напряжений статической и динамической нагрузок, будет переходить через ноль, и напряжения станут знакопеременными. В том и другом случаях, возможно возникновение усталости материала, причем во втором случае, когда имеются знакопеременные напряжения, явление усталости проявляется в большей степени, чем в первом.

Материалы и методы. При экспериментальном определении динамического коэффициента его значение выводится из соотношения:

$$K_{\partial} = \frac{Y_{\partial}}{Y_{cm}}, \quad (1)$$

Y_{cm} – максимальный прогиб балочной конструкции при медленном проходе нагрузки (статическое нагружение);

Y_{∂} – максимальный прогиб при движении нагрузки со скоростью, вызывающей наибольшие колебания конструкции (динамическое нагружение).

Такие два нагружения можно легко осуществить для нагрузок, движущихся по рельсам (локомотивы, трамваи и т.п.). Наибольшая ордината даст величину максимального динамического прогиба. Для получения прогиба от статической нагрузки необходимо на записанной кривой провести среднюю линию, делящую пополам размах вибраций; эта кривая представляет собой диаграмму статических прогибов, и ее наибольшая ордината принимается для определения динамического коэффициента.

Напряжения в элементе конструкции при действии динамической нагрузки состоят из напряжения от статической нагрузки, включая собственный вес элемента, сложенного с динамическим напряжением вызванным вибрацией:

$$\sigma = \sigma_{cm} + \sigma_{\partial}, \quad (2)$$

В этом случае учитываются только те динамические напряжения, которые имеют одинаковый знак с напряжениями от статической нагрузки. Например, если рассматривается изгибаемая балка, то к напряжениям от статической нагрузки прибавляются напряжения, вызываемые динамической нагрузкой, при деформации балки в сторону статического прогиба.

Для определения необходимо вычислить инерционную силу, действующую на исследуемый элемент. Инерционная сила равна массе, умноженной на ускорение:

$$Q_{ин} = m \cdot x, \quad (3)$$

Ускорение можно измерить акселерометром или получить из виброграммы, пользуясь формулой:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a}{x}}, \quad (4)$$

где T – период колебания;
 x – наибольшая амплитуда;
 a – ускорение элемента конструкции.

Отсюда:

$$x = \frac{4\pi^2 a}{T^2} = 4\pi^2 a f^2, \quad (5)$$

где f – частота колебаний элемента.

Во всех точках, где требуется определить ускорение, надо установить акселерометры, сейсмометры, динамические прогибомеры или прогибомеры с проволочными датчиками и записать акселерограммы или осциллограммы.

При действии на элемент осевой силы динамическое напряжение:

$$\sigma_{\partial} = \frac{Q_{ин}}{F} = \frac{mx}{F}, \quad (6)$$

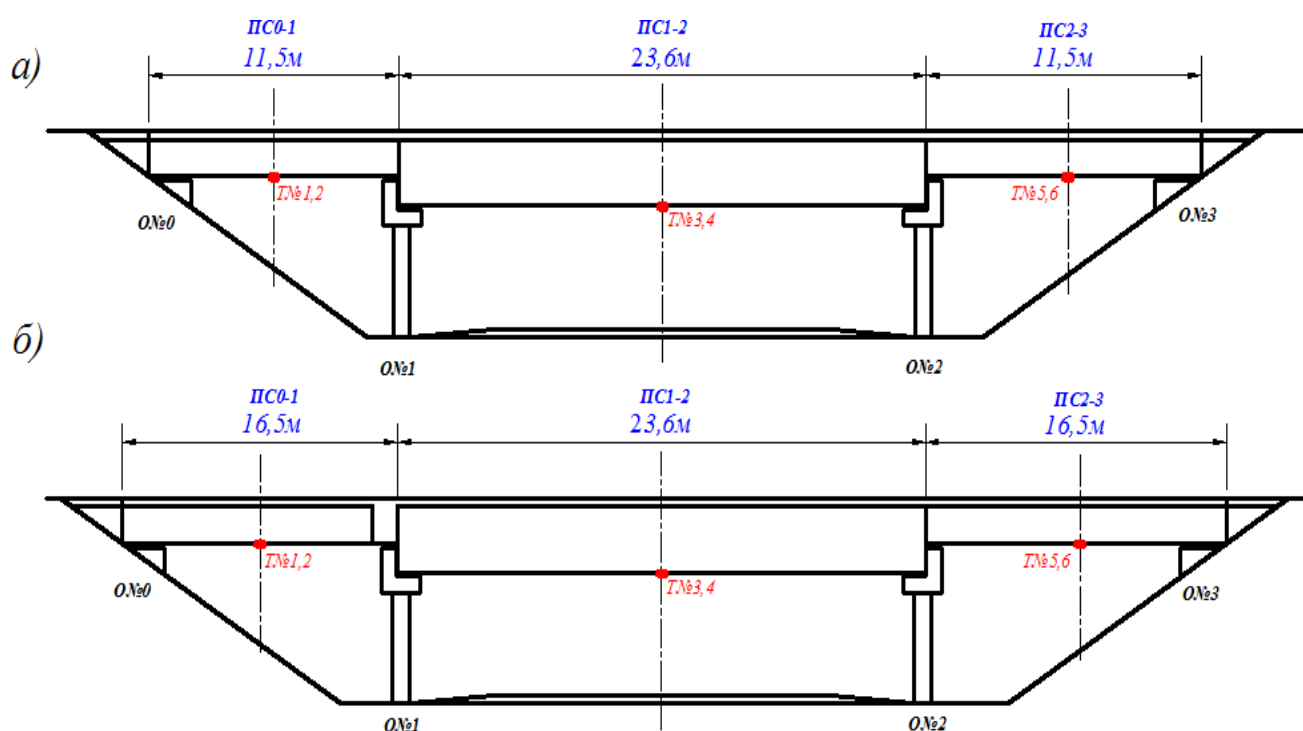
В случае действия на балку на двух шарнирных опорах сосредоточенной силы, приложенной в середине пролета, динамическое напряжение равно:

$$\sigma_{\partial} = \frac{Q_{ин}}{4W} = \frac{mxl}{4W}, \quad (7)$$

В центрах каждого участка устанавливаются акселерометры, сейсмометры или прогибомеры с тензорезисторами и записываются осциллограммы или виброграммы, по которым определяются ускорения.

Перемножив массы на соответствующие ускорения, находят инерционные силы, действующие в каждом участке балки. Зная величины инерционных сил и точки их приложения, принимаемые в центрах отдельных участков, можно вычислить изгибающие моменты, действующие на балку, и определить динамические напряжения в любом сечении по ее пролету.

Результаты и обсуждение. Испытания проводились на двух железнодорожных путепроводах через автомобильную дорогу II категории на км 56 ПК9+50 (схема 16,5+23,6+16,5 м) и на км 96 ПК5+20 (схема 11,5+23,6+11,5 м) железнодорожной линии Кульсары-Тенгиз [2, 3]. На рис. 1 представлены схемы продольных сечений и места расположения датчиков на пролетных строениях железнодорожных железобетонных путепроводов. В качестве испытательной нагрузки использовали сцеп – тепловоз ТЭМ-18 (шесть осей) и вагон хоппер-дозатор (четыре оси). Схемы загрузений от сцепа «тепловоз ТЭМ-18 + вагон хоппер-дозатор» для железнодорожного путепровода на км 96 ПК5+20 (схема 11,5+23,6+11,5 м) при статических испытаниях приведены на рис.2.



- а) продольные сечения пролетных строений путепровода на км 97 ПК5+20;
 б) продольные сечения пролетных строений путепровода на км 56 ПК9+50;
 ПС0-1, ПС1-2, ПС2-3 – пролетные строения путепроводов;
 Т№1, Т№2 Т№3, Т№4, Т№5, Т№6 – тензорезисторы FLM-60-11;
 О№1, О№2 – рамные, двухстоечные промежуточные опоры;
 О№0, О№3 – устои обсыпного типа

Рисунок 1 – Схема расположения тензорезисторов на пролетных строениях железнодорожных железобетонных путепроводов

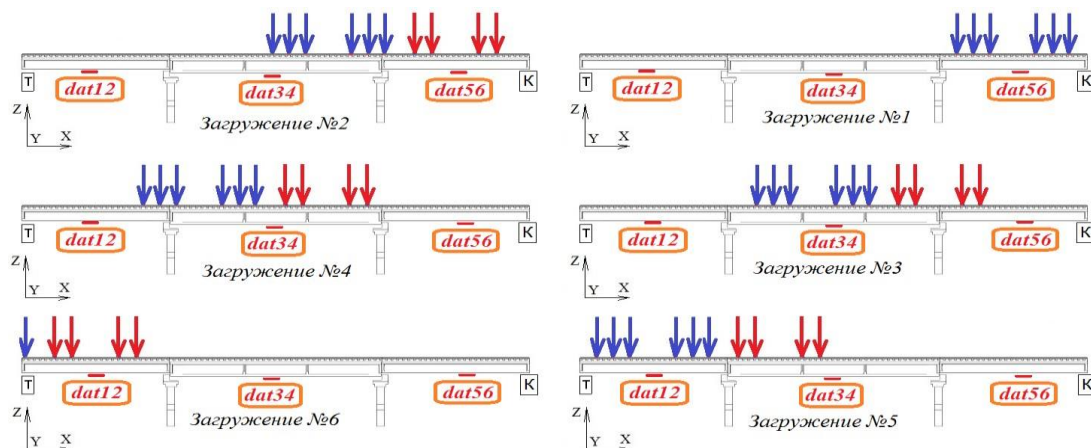


Рисунок 2 – Схемы временных нагрузок от сцепа «тепловоз + вагон» (Загрузки № 1-6), dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – тензорезисторы установленные на пролетных строениях путепровода; К, Т – станции до и после путепровода

На рис. 3 показан момент фиксирования прогибов и напряжений от тепловоза ТЭМ-18 установленного на пролетном строении ПС2-3 длиной 11,5 м. Диаграммы фибровых напряжений растянутой зоны правого (а) и левого (б) блоков пролетного строения ПС 1-2 при загрузке №4 (статические испытания путепровода) показаны на рис. 4. В таблице представлены результаты статических испытаний железнодорожного путепровода 11,5+23,6+11,5 м на 96 км ПК5-20, фибровые напряжения от временной нагрузки сцепа «тепловоз ТЭМ-18 + вагон хоппер-дозатор» и динамических испытаний того же путепровода от той же подвижной нагрузки, а так же выведен динамический коэффициент для каждого блока всех пролетных строений.



Рисунок 3 - Установка сцепа «тепловоз + вагон» на пролетное строение 2-3 (Загрузка №1)

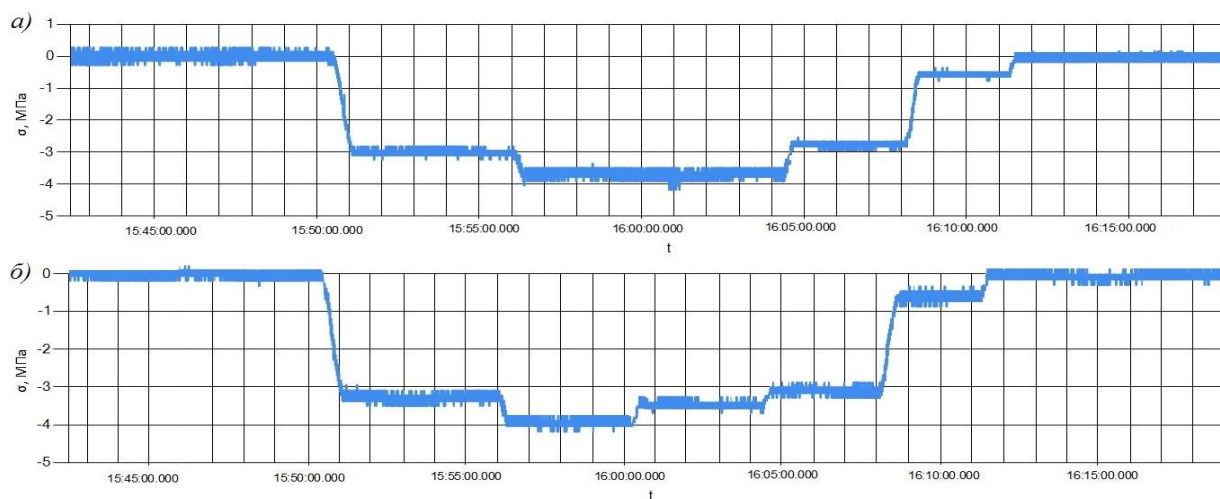


Рисунок 4 – Диаграммы фибровых напряжений растянутой зоны ПС 1-2 (dat 3, 4, Загрузка №4): а – в правом блоке; б – в левом блоке

Таблица 1 – Фибровые напряжения и динамические коэффициенты от временных нагрузок сцеп «тепловоз ТЭМ-18 + вагон хоппер-дозатор»

Железнодорожный путепровод 11,5+23,6+11,5 м на 96 км ПК5-20						
Схема расстановки временной нагрузки и прохода со скоростями	ПС 0-1		ПС 1-2		ПС 2-3	
	Правый блок dat 1	Левый блок dat 2	Правый блок dat 3	Левый блок dat 4	Правый блок dat 5	Левый блок dat 6
	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа
Сцеп – тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор (статические испытания)						
Загрузка № 1	0	0	0	0	3,71	3,90
Загрузка № 2	0	0	1,94	1,61	3,99	4,12
Загрузка № 3	0	0	3,37	2,97	1,54	1,59
Загрузка № 4	0,52	0,45	3,42	3,73	0	0
Загрузка № 5	3,70	3,46	1,63	1,75	0	0
Загрузка № 6	3,88	3,61	0	0	0	0
Проход сцеп – тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор (динамические испытания)						
10 км/ч	4,35	3,72	3,42	3,99	4,15	4,16
20 км/ч	4,50	3,75	3,42	4,14	3,99	4,20
30 км/ч	4,38	3,75	3,56	3,99	4,19	4,20
40 км/ч	4,66	3,90	3,66	4,40	4,31	4,37
50 км/ч	4,46	4,19	3,83	4,40	4,31	4,70
Динамический коэффициент, 1+μ						
10 км/ч	1.12	1.03	1.00	1.07	1.04	1.01
20 км/ч	1.16	1.04	1.00	1.11	1.00	1.02
30 км/ч	1.13	1.04	1.04	1.07	1.05	1.02
40 км/ч	1.20	1.08	1.07	1.18	1.08	1.06
50 км/ч	1.15	1.16	1.12	1.18	1.08	1.14

Более подробно исследования по определению напряжений в конструкциях мостов изложены в работах [4-9].

Исходя из полученных результатов испытаний, можно сделать следующие выводы:

- техническое состояние пролетных строений железнодорожного путепровода 11,5+23,6+11,5 м на 96 км ПК5-20 удовлетворительное, разница в напряженном состоянии между правым и левым блоком ПС 0-1 около 7%, ПС 1-2 – 8% и ПС 2-3 – 3%.

- наибольший динамический коэффициент $I+\mu = 1.20$ наблюдается на правом блоке пролетного строения ПС-1 при проходе сцепа «тепловоз ТЭМ-18 + вагон хоппер-дозатор» со скоростью 40 км/ч.

Заключение. Используя высокоточный тензометрический программно-аппаратный комплекс можно проводить мониторинг технического состояния (выявлять дефекты и следить за их развитием во времени) искусственных сооружений на магистральных железнодорожных линиях Республики Казахстан.

Литература:

1. Квашин М.Я., Бондарь И.С., Рыстыгулов П.А., Кыстаубаев С.Б. Экспериментальные исследования конструкций железнодорожных мостов, усиливаемых композитным материалом // Труды Шестнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М: МГУПС (МИИТ), 2015. – Т II, С. II-43 – II-47.
2. Квашин М.Я., Бондарь И.С., Жангабылова А.М. Мониторинг воздействия подвижного состава на балочные пролетные строения железнодорожных мостов // Материалы Международной научно-практической конференции «Транспортная наука и инновации», посвященной посланию Президента РК Н.А. Назарбаева «Нұрлы жол – путь в будущее». – Алматы: КазАТК, 2015. – С. 275-279.
3. Квашин М.Я., Буромбаев С.А., Бондарь И.С., Жангабылова А.М. Влияние вибродинамического воздействия локомотивов с высокими осевыми нагрузками на ж.д. путь и балочные ж.б. пролетные строения мостов // Труды XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. – М: МГУПС (МИИТ), 2015. – С. 163-166.
4. Квашин М.Я., Бондарь И.С., Рыстыгулов П.А., Кыстаубаев С.Б. Экспериментальные исследования конструкций железнодорожных мостов, усиливаемых композитным материалом // Труды Шестнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М: МГУПС (МИИТ), 2015. – Т II, С. II-43 – II-47.
5. Буромбаев С.А., Квашин М.А., Квашин М.Я. Диагностика и мониторинг искусственных сооружений магистральных линий АО «НК «ҚТЖ» // Вестник КазАТК. – 2016. – № 3 (98). – С. 38-57.
6. Квашин М.Я., Бондарь И.С., Жангабылова А.М. Мониторинг воздействия подвижного состава на балочные пролетные строения железнодорожных мостов // Материалы Международной научно-практической конференции «Транспортная наука и инновации», посвященной посланию Президента РК Н.А. Назарбаева «Нұрлы жол – путь в будущее». – Алматы: КазАТК, 2015. – С. 275-279.
7. Технический отчет. Обследование и испытание железнодорожного путепровода по схеме 16,5+23,6+16,5м через автомобильную дорогу II категории на км 56 ПК9+50 железнодорожной линии Кульсары-Тенгиз. – Алматы: АО «КазАТК им. М. Тынышпаева», 2018 – С. 126.

8. *Технический отчет. Обследование и испытание железнодорожного путепровода по схеме 11,5+23,6+11,5м через автомобильную дорогу II категории на км 96 ПК5+20 железнодорожной линии Кульсары-Тенгиз.* – Алматы.: АО «КазАТК им. М. Тынышпаева», 2018 – С. 121.
9. СП РК 3.03-112-2013 «Мосты и трубы».

References:

1. *Kvashnin M.Ya., Bondar I.S., Rystygulov P.A., Kystaubayev S.B. Experimental studies of railway bridge structures reinforced with composite material // Proceedings of the Sixteenth scientific and practical conference «Train Traffic Safety».* – М.: MGUPS (МИИТ), 2015. – Т II, P. II-43-II-47.
2. *Kvashnin M.Ya., Bondar I.S., Zhangabylova A.M. Monitoring the impact of rolling stock on the beam spans of railway bridges // Materials of the International scientific and Practical conference «Transport Science and Innovations», dedicated to the message of the President of the Republic of Kazakhstan N.A. Nazarbayev «Nurly Zhol-the way to the future».* – Almaty: KazATK, 2015. – Pp. 275-279.
3. *Kvashnin M.Ya., Burombaev S.A., Bondar I.S., Zhangabylova A.M. Influence of vibrodynamic impact of locomotives with high axial loads on the railway track and girder railway spans of bridges // Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference «Modern problems of design, construction and operation of the railway track». Readings dedicated to the memory of Professor G. M. Shakhunyants.* – М.: MGUPS (МИИТ), 2015. – Pp. 163-166.
4. *Kvashnin M.Ya., Bondar I.S., Rystygulov P.A., Kystaubayev S.B. Experimental studies of railway bridge structures reinforced with composite material // Proceedings of the Sixteenth scientific and practical conference «Train Traffic Safety».* – М.: MGUPS (МИИТ), 2015. – Т II, P. II-43-II-47.
5. *Burombaev S.A., Kvashnin M.Ya. Diagnostics and monitoring of artificial structures of main lines of JSC "NC "KTZ" // Bulletin of KazATK No. – 2016. – 3 (98). – Pp. 38-57.*
6. *Kvashnin M. Ya., Bondar I. S., Zhangabylova A.M. Monitoring the impact of rolling stock on the beam spans of railway bridges // Materials of the International scientific and Practical conference «Transport Science and Innovations», dedicated to the message of the President of the Republic of Kazakhstan N. A. Nazarbayev «Nurly Zhol – the way to the future».* – Almaty: KazATK, 2015. – Pp. 275-279.
7. *Technical report. Inspection and testing of the railway overpass according to the scheme 16,5+23,6+16,5 m through the category II highway on km 56 PK9+50 of the Kulsary-Tengiz railway line.* – Almaty: JSC «KazATK named after M. Tynyshpayev», 2018. – P. 126.
8. *Technical report. Inspection and testing of the railway overpass according to the scheme 11,5+23,6+11,5 m through the category II highway on km 96 PK5+20 of the Kulsary-Tengiz railway line.* – Almaty: JSC «KazATK named after M. Tynyshpayev», 2018. – P. 121.
9. *SP RK 3.03-112-2013 «Bridges and pipes».*

М.Я. Квашнин¹, И.С. Бондарь¹, С.С. Хасенов¹, Г.С. Бихожаева^{1*}

¹ Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

*Corresponding author: gulmira_180866@mail.ru

Авторлар жайлы ақпарат:

Квашнин Михаил Яковлевич – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashin_mj55@mail.ru

Бондарь Иван Сергеевич – техника ғылымдарының кандидаты, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-2186-9982>, email: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Хасенов Серик Сатыбаевич - техника ғылымдарының докторы, профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-5740-8881>, email: sake-56@mail.ru

Бихожаева Гульмира Сагатовна - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-9239-7433>, email: gulmira_180866@mail.ru

ТЕМІР ЖОЛ ӨТПЕЛЕРІН СЫНАУ КЕЗІНДЕ КЕРНЕУЛЕР МЕН ДИНАМИКАЛЫҚ КОЭФФИЦИЕНТТЕРДІ АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста жылжымалы жүктемедегі теміржол өткелдерінің темірбетон арқалықтарының аралық құрылымдарының динамикалық коэффициенттері мен талшықты кернеулерін аспаптық өлшеудің кейбір нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасының магистральдық темір жол желілеріндегі осындай құрылыстарды одан әрі мониторингілеу, көпірлер конструкцияларындағы зақымдануларды анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: теміржол өтпесі, арқалық аралық құрылыстар, талшықты кернеулер, динамикалық коэффициент.

M.Ya. Kvashnin¹, I.S. Bondar¹, S.S. Khasenov¹, G.S. Bikhoshaeva^{1*}

¹ Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: gulmira_180866@mail.ru

Information about authors:

Kvashnin Mikhail – Candidate of technical science, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashin_mj55@mail.ru

Bondar Ivan – Candidate of technical science, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-2186-9982>, email: ivan_sergeevich_08@mail.ru

Khasenov Serik - Doctor of technical science, Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5740-8881>, email: sake-56@mail.ru

Bikhoshaeva Gulmira - Candidate of technical science, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-9239-7433>, email: gulmira_180866@mail.ru

DETERMINATION OF STRESSES AND DYNAMIC COEFFICIENTS WHEN TESTING RAILWAY OVERPASSES

Abstract. This paper presents some results of instrumental measurements of dynamic coefficients and fiber stresses of reinforced concrete girder spans of railway overpasses under mobile load. The results obtained can be used for further monitoring of similar structures on the main railway lines of the Republic of Kazakhstan, to identify damage in the structures of bridges.

Keywords: railway overpass, girder spans, fiber stresses, dynamic coefficient.