

N E W S**OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 1, Number 439 (2020), 181 – 188

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.22>

UDC 624.21:620.178

**V. G. Solonenko¹, N. M. Makhmetova¹, V. A. Nikolaev²,
M. Ya. Kvashnin¹, S. E. Bekzhanova¹, I. S. Bondar¹, S. A. Mirzabaev¹**

¹Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan;

²Omsk State Transport University, Omsk, Russia.

E-mail: v.solonenko@mail.ru, makhmetova_n1958@mail.ru, NikolaevVA@omgups.ru,
kvashnin_mj55@mail.ru, s.bekzhanova@bk.ru, ivan_sergeevich_08@mail.ru, serzhan912705@gmail.com

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF TRAVEL PIPES WITH THE USE OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX

Abstract. In the work, the stress-strain state in the structural elements of reinforced concrete span structures of railway overpasses under its own weight and temporary load based on experimental and numerical methods was studied. Based on the analysis of the numerical results of the stress-strain state of the span structures of the railroad overpass, it was proved that for comparison assessment with the normalized stress range, the use of 2 loading options is sufficient as a static load: hitch and raft.

The results of the stress-strain state in the girder reinforced concrete span structures of the overpass can be used in the calculations of seismic stability and stability of similar structures with an increase in the operational load on railway bridges.

Proved the need for periodic monitoring of the stress-strain state of artificial structures under operational loads in order to determine the actual technical condition of structures, effective assessment of the reliability of bridge structures and to establish the correspondence between the design scheme and the actual working structures on the main lines of Kazakhstan.

Keywords: railroad overpass, beam span structures, stress-strain state, temporary load, own weight, stability, seismic resistance.

The article presents multivariate numerical and experimental data on the stress-strain state of the railroad overpass under the influence of loads from the operating rolling stock. These studies can then be used in the design of artificial structures and for comparison with the data obtained during the field tests to identify defects in the structural elements of railway bridges.

Description of the calculated model. The design model of the structure is constructed according to the data of the working documentation for the analysis of stress-strain state. A general view of the design model of the structure under consideration is presented in figure 1.

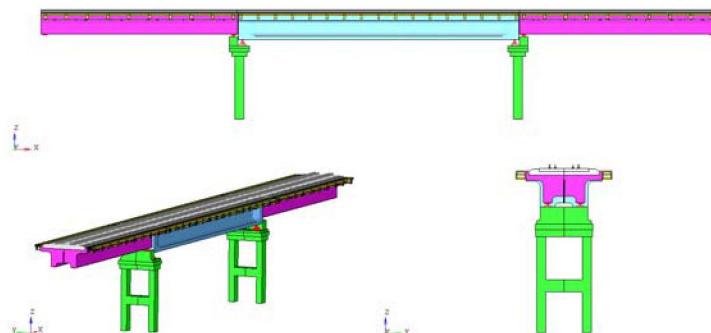


Figure 1 – A deformable finite element model of the overpass. General form

Models of reinforced concrete elements of supporting structures of the overpass take into account the joint work of reinforcing elements and concrete filling. The concrete filling of the structures of reinforced concrete blocks of the span structures of 16.5 m and 23.6 m, as well as the frames and pedestals of the intermediate supports of the overpass are given by volume elements. Reinforcing elements of structures (frames, grids, bundles of wires for prestressing concrete) of span structures and intermediate support structures are specified by core elements and take into account their spatial arrangement in concrete filling.

Accepted loads. All values of loads are taken without taking into account the various coefficients of the joint venture [1] and SNiP [2] (working conditions, reliability for loads, reliability for liability, etc.). The own weight of the structures of the structure is taken into account by the task of inertial load - gravity. Temporary loads are set according to the following types of effects: static load on the weight of the coupling according to the "locomotive-car" scheme; static load on the weight of a raft of three locomotives. The impact of the weight of the locomotive (TEM-18 diesel locomotive, 2 carts, 3 axles per carriage) is specified in the form of concentrated forces of 202.7 kN/axis in the nodes of the rail track model in accordance with the distances: 16,900 mm between axles of automatic couplings; 8800mm between the pins of carts; 1850 mm between bogie axles.

The impact of the weight of the car (hopper-metering model 55-76, 2 carts, 2 axles per carriage) is set in the form of concentrated forces of 228.7 kN/axis into the nodes of the rail track model in accordance with distances: 11 520 mm between the axles of the couplings; 7200 mm between the pins of carts (car base); 1850 mm between bogie axles. The considered schemes of temporary loads are presented in figure 2 - six schemes for coupling "one locomotive + one car" and in figure 3 – five schemes for raft "three locomotives".

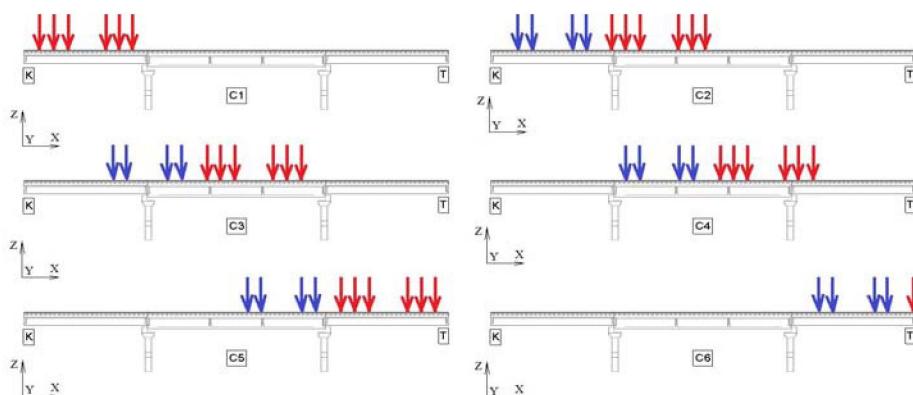


Figure 2 – Schemes of temporary loads from the coupling "locomotive-car" (C1-C6) "K" – Kulsary, "T" – Tengiz

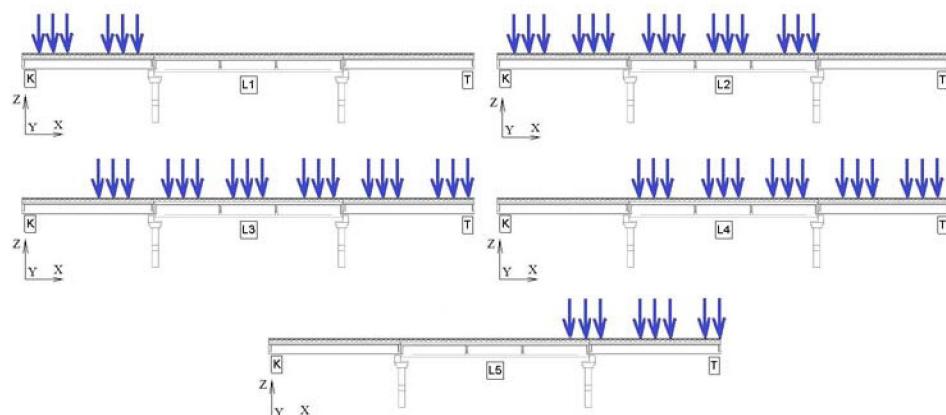


Figure 3 – Schemes of temporary loads from the raft "3 locomotive" (L1-L5) "K" - Kulsary, "T" – Tengiz

The results of the calculated static analysis. Calculations of the stress-strain state of the elements of the structure are performed for the given combinations of loads (design cases) [3, 4].

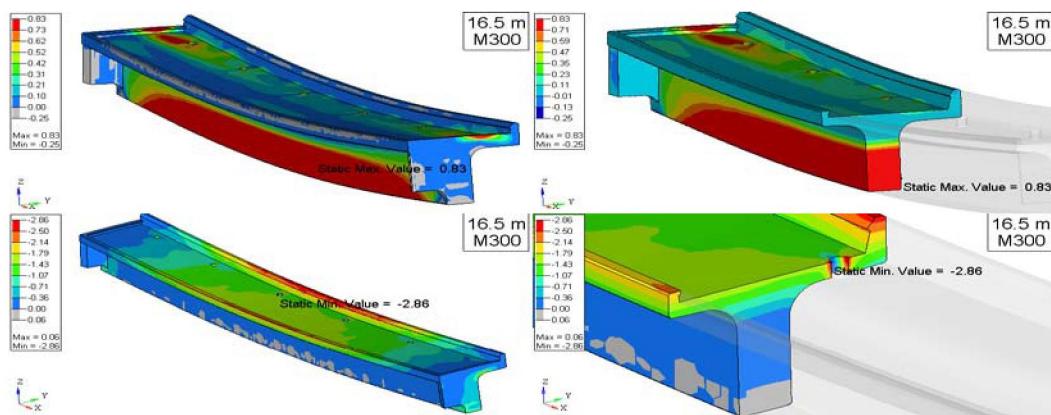
The following settlement cases are considered (12 cases in total), where they are indicated: C – Kul-sary; T - Tengiz; PS0-1 - superstructure from the Kulsar; PS1-2 - span of 23.6 m; PS2-3 - superstructure from Tengiz:

- P0. "The tension of the reinforcement blocks 23.6 m + Own weight";
- C1. "P0 + coupling (middle of locomotive over middle of PS0-1)";
- C2. "P0 + coupling (middle of the car over the middle of PS0-1)";
- C3. "P0 + coupling (middle of the car above the support K)";
- C4. "P0 + coupling (middle of coupling over the middle of PS1-2)";
- C5. "P0 + coupling (middle of the coupling over support T)";
- C6. "P0 + coupling (middle of the car over the middle of PS2-3)";
- L1. "P0 + raft (middle of locomotive No. 1 over the middle of PS0-1)";
- L2. "P0 + raft (middle of locomotive No. 2 above bearing K)";
- L3. "P0 + raft (5th axis of the 2nd locomotive over the middle of PS1-2)";
- L4. "P0 + raft (2nd axis of the 3rd locomotive over the middle of PS1-2)";
- L5. "P0 + raft (2nd axis of the 3rd locomotive over the middle of PS2-3)".

The results of the calculations are presented as deformation values at the control points obtained using virtual sensors (compliant core elements with an initial length of 60 mm with linearly elastic properties of steel) installed on the concrete spans of the overpass. Control points are selected on the lower belt in the middle sections of the superstructure of the structure:

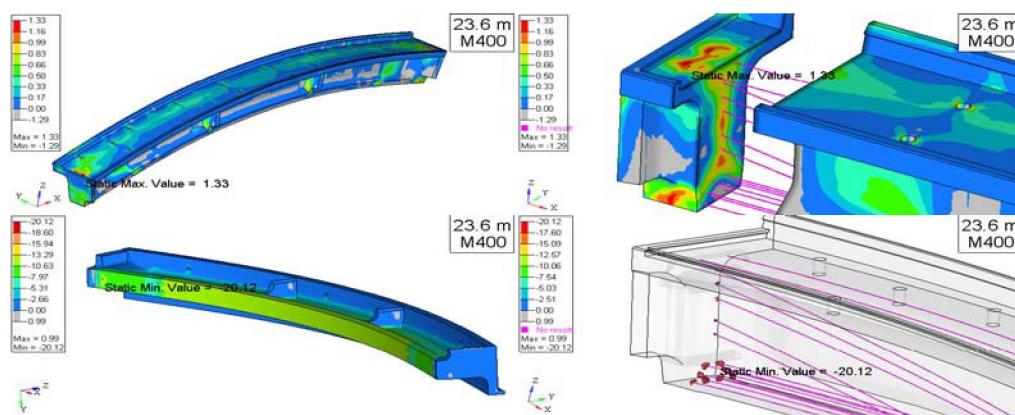
- "dat12" - a sensor in the middle of the superstructure PS0-1;
- "dat34" - a sensor in the middle of the span of the PS1-2;
- "dat56" - a sensor in the middle of the PS2-3 span.

Calculations of structural elements for given loads are presented in the form of stress distributions of concrete blocks of span structures of the overpass for the design case P0 (figures 4, 5) and as the stress values at test points and virtual sensors for all considered design cases (table 1).



main maximum stresses - top, main minimum stresses – bottom

Figure 4 – Calculated case P0. Deformed state and distribution of main stresses (MPa) in concrete of span structures 16.5m



main maximum stresses - top, main minimum stresses – bottom

Figure 5 – Calculated case P0. Deformed state and distribution of main stresses (MPa) in concrete of superstructures 23.6m

Table 1 – The calculated values of the virtual stresses on the concrete spans of the overpass

Settlement case	Stress, MPa			Stresses increment from temporary load, MPa		
	dat 1, 2	dat 3, 4	dat 5, 6	dat 1, 2	dat 3, 4	dat 5, 6
Rebar tension	0,00	-22,87	0,00	–	–	–
II0	4,50	-17,97	4,50	–	–	–
C1	9,26	-17,97	4,50	4,76	0,00	0,00
C2	8,98	-15,20	4,50	4,48	2,77	0,00
C3	6,29	-14,01	4,50	1,79	3,96	0,00
C4	4,50	-14,08	5,23	0,00	3,89	0,73
C5	4,50	-16,00	9,24	0,00	1,97	4,74
C6	4,50	-17,97	8,96	0,00	0,00	4,46
L1	9,24	-17,97	4,50	4,74	0,00	0,00
L2	9,77	-14,08	4,50	5,27	3,89	0,00
L3	8,02	14,10	9,30	3,52	3,87	4,80
L4	4,50	14,08	9,80	0,00	3,89	5,30
L5	4,50	17,81	9,68	0,00	0,16	5,18

The results of experimentally obtained data. Field tests of a single-track railroad overpass through a highway in the production area were carried out in the spring of 2018 using a tensor metric software and hardware complex (TPAK) [5]. The overpass was built in 188, according to the following scheme: 16.5+23.6+16.5m for 56km of PK 9+50 railway line Kulsary-Tengiz, from prefabricated reinforced concrete structures.

Strain gages (dat 1,2,3,4,5,6) are installed, on each block of flying structures in the middle part (odd on the right blocks, even on the left blocks), the glued strain gauges are also protected from external influences environment for the purpose of further monitoring for 8-10 years.

As an example in figures 6, 7, diagrams of measured fibrous stresses in the stretched zone (lower part of the rib) in the middle of blocks of reinforced concrete span structures of a railroad overpass are given when exposed to temporary loads from the TEM-18 diesel locomotive and the Hopper - Dozator car (static tests table 2).

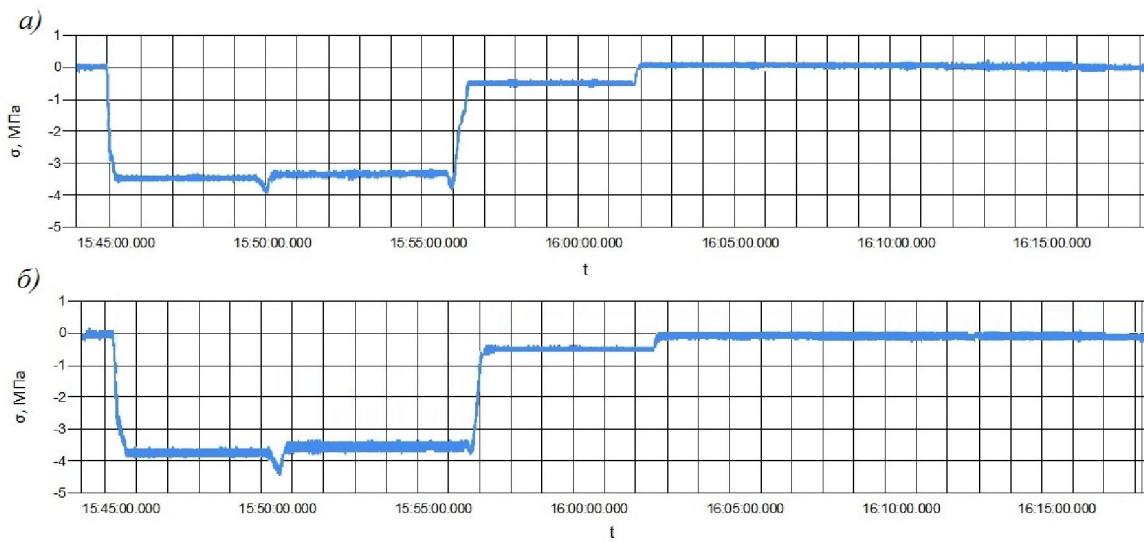


Figure 6 – Fiber stress diagrams of the tension zone PS 0-1 (dat 5, 6, load C1):
a – in the right block; b – in the left block

In [6], a detailed description of the technical part (primary and secondary converters) and software of the used TENZ hardware and software complex is presented. The data obtained by calculation are consistent with the experimental data obtained in [7–14].

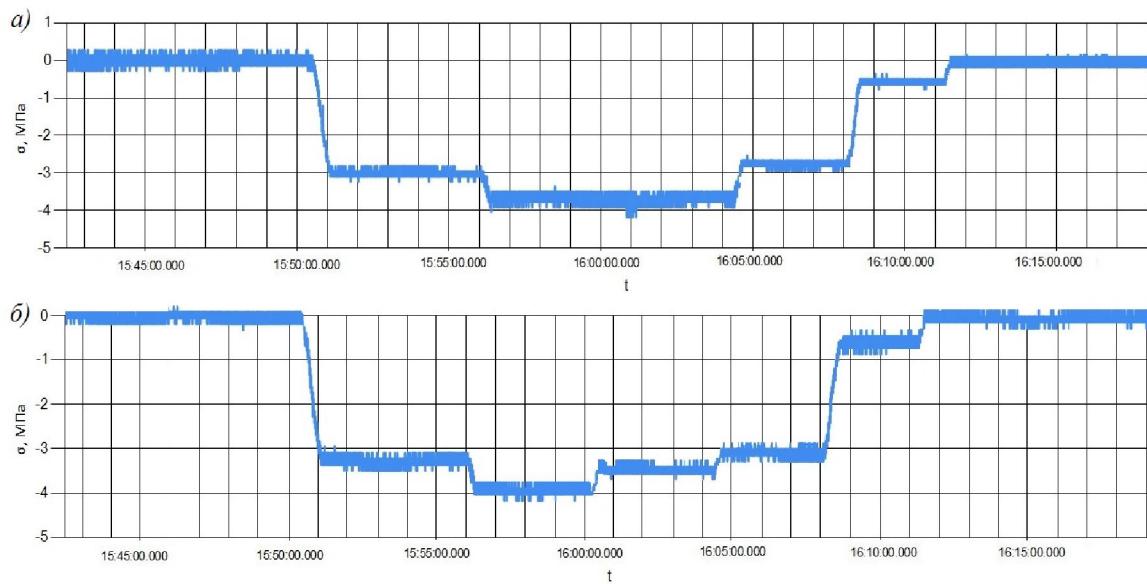


Figure 7 – Fiber stress diagrams of the tension zone PS 1-2 (dat 3, 4, load C4):
a – in the right block; b – in the left block

Table 2 – Fiber stresses from temporary loads of the coupler and raft (static tests)

Layout Scheme temporary load	Railway overpass 16.5 + 23.6 + 16.5 m for 56 km PK9 + 50					
	PS 0-1		PS 1-2		PS 2-3	
	Right block 1+1	Left block 1+2	Right block 1+2	Left block 1+4	Right block 1+5	Left block 1+6
σ, MPa	σ, MPa	σ, MPa	σ, MPa	σ, MPa	σ, MPa	σ, MPa
C1	3,78	3,55	0	0	0	0
C2	2,95	3,02	2,96	3,23	0	0
C3	2,67	2,57	3,65	3,89	0,89	0,82
C4	0	0	3,67	3,53	3,46	3,41
C5	0	0	2,87	3,09	4,20	4,10
C6	0	0	0,67	0,75	2,87	2,71
L1	4,02	3,75	0,02	0,03	0	0
L2	4,97	5,08	3,42	3,71	0,02	0,06
L3	3,15	3,03	3,28	3,48	4,14	4,10
L4	0,12	0,15	3,56	3,49	4,99	4,96
L5	0	0	0,48	0,41	4,86	4,82

Conclusions. From the analysis of the stresses obtained by calculation in the beam-concrete concrete spans of the overpass it follows that to determine the stress-strain state of the spans of the railroad overpass in order to compare with the normalized range, 2 loading options are quite enough as a static load: (locomotive + wagon) and raft (3 locomotives).

The obtained results of stresses in girder reinforced concrete span structures of the overpass can be used in calculations of similar structures for seismic resistance, as well as in dynamic calculations of stability with increasing operational load on railway bridges.

To determine the actual technical condition of structures and the most effective assessment of the reliability of bridge structures and to establish consistency between the design scheme and the actual work of the structures on the trunk lines of Kazakhstan, it is necessary to periodically monitor the stress-strain state of artificial structures under operational loads.

В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев²,
М. Я. Квашнин¹, С. Е. Бекжанова¹, И. С. Бондарь¹, С. А. Мирзабаев¹

¹М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы, Алматы, Қазақстан;

²Омбы мемлекеттік жол қатнасы университеті, Ресей

ЖОЛ ӨТПЕСІНІЦ ҚЕРНЕУЛ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ ҚҮЙИН АППАРАТ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚЕШЕНІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ТАЛДАУ

Аннотация. Жұмыста эксперименталдық және сандық әдістер негізінде темір жол өткелдерінің темір-бетон аралық құрылыштары конструкцияларының элементтерінің нақты салмағы мен уақытша жүктеменің әсері, қернеул-деформацияланған жай-қүйі (КДЖ) зерттелді. КДЖ сандық әтижелерін талдау негізінде темір жол өткелінің аралық құрылыштары нормаланатын қернеу диапазонымен салыстыру үшін статикалық жүктеме ретінде тиесудің тіркеу және жинақтау 2 нұсқаларын қолдану жеткілікті екендігі дәлелденді.

Конструкциялардың нақты техникалық жай-қүйін анықтау мақсатында, көпірлер конструкцияларының сенімділігін тиімді бағалау және Қазақстан магистральды желілеріндегі құрылыштың есептік схемасы мен нақты жұмысының арасындағы сәйкестікті белгілеу мақсатында, пайдалану жүктемелерімен жасанды құрылыштардың КДЖ мерзімді мониторингін жүргізу қажеттігі дәлелденген.

Жұмыста қолданыстағы жылжымалы құрамның жүктемелерінің әсер етуі кезінде темір жол өтке-лінің қернеул-деформацияланған қүйі туралы көп нұсқалы сандық және эксперименталдық деректер берілген. Осы зерттеулер бұдан ары жасанды құрылыштарды жобалау кезінде және темір жол көпірлері конструкцияларының элементтеріндегі ақауларды анықтау мақсатында, нақты сынақтар жүргізу кезінде алынған деректермен салыстыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Жол өткелінің көтеріш конструкцияларының темір-бетон элементтерінің модельдерінде армирлеуші элементтер мен бетон толтырылуындағы бірлескен жұмысы ескеріледі. Темір бетон блоктарының 16,5 м және 23,6 м аралық құрылымдардағы конструкциясының, сондай-ақ жол өткелінің аралық тіректерінің рамалары мен түмбаларын бетонмен толтырылуы көлемді элементтермен берілген. Аралық тіректердің аралық құрылыштары мен құрылыштарының конструкцияларының арматураланған элементтері (канкалар, торлар, бетонның алдын ала қернеуіне арналған сымдар шоғыры) өзекті элементтермен берілуі және олардың бетонды толтырудың көңілкітке орналасуы ескерілген.

Жол өткелінің темір-бетон аралық құрылыштарындағы есептік жолмен алынған қернеулерді талдаудан, нормаланатын диапазонмен салыстыру мақсатында, темір жол өтпежолдарының аралық құрылыштарының КДЖ анықтау үшін статикалық жүктеме ретінде тиесудің 2 нұсқасын қолдану жеткілікті: тіркеу (локомотив + вагон) және жинақтау (3 локомотив).

Жол өткелінің темір-бетон аралық құрылыштарындағы қернеулердің алынған әтижелерін сейсмикалық төзімділікке ұқсас құрылыштардың есептерінде, сондай-ақ темір жол көпірлеріне пайдалану жүктемесін арттыру кезінде орнықтылықтың динамикалық есептерінде пайдалануға болады.

Конструкциялардың нақты техникалық жай-қүйін анықтау және көпірлер конструкцияларының сенімділігін неғұрлым тиімді бағалау және құрылыштың есептік схемасы мен нақты жұмысының арасындағы сәйкестікті белгілеу үшін Қазақстанның магистральдык желілерінде пайдалану жүктемелерімен жасанды құрылыштардың КДЖ-ның мерзімді мониторингін жүзеге асыру қажет.

Түйін сөздер: темір жол өтпесі, арқалықты аралық құрылым, қернеул-деформациялық қүй, уақытша жүктеме, меншікті салмақ, орнықтылық, сейсмикалық тұрақтылық.

В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев²,
М. Я. Квашнин¹, С. Е. Бекжанова¹, И. С. Бондарь¹, С. А. Мирзабаев¹

¹Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан;

²Омский государственный университет путей сообщения, Россия

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУТЕПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. В работе изучено напряженно-деформированное состояние (НДС) в элементах конструкций железобетонных пролетных строений железнодорожных путепроводов под действием собственного веса и временной нагрузки на основе экспериментальных и численных методов. На основе анализа численных

результатов НДС пролетных строений железнодорожного путепровода доказано, что для сравнительной оценки с нормируемым диапазоном напряжений в качестве статической нагрузки достаточно применение 2-х вариантов загружения: сцепка и сплотка.

Доказана необходимость проведения периодического мониторинга НДС искусственных сооружений под эксплуатационными нагрузками в целях определения фактического технического состояния конструкций, эффективной оценки надежности конструкций мостов и установления соответствия между расчетной схемой и действительной работой сооружений, на магистральных линиях Казахстана.

В работе представлены многовариантные численные и экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии железнодорожного путепровода при воздействии нагрузок от эксплуатируемого подвижного состава. Данные исследования в дальнейшем могут быть использованы при проектировании искусственных сооружений и для сравнения с данными, полученными при проведении натурных испытаний с целью выявления дефектов в элементах конструкций железнодорожных мостов.

Модели железобетонных элементов несущих конструкций путепровода учитывают совместную работу армирующих элементов и бетонного заполнения. Бетонное заполнение конструкций железобетонных блоков пролетных строений 16,5 м и 23,6 м, а также рам и тумб промежуточных опор путепровода заданы объемными элементами. Армирующие элементы конструкций (каркасы, сетки, пучки проволок для предварительного напряжения бетона) пролетных строений и строений промежуточных опор заданы стержневыми элементами и учитывают их пространственное расположение в бетонном заполнении.

Из анализа полученных расчетным путем напряжений в балочных железобетонных пролетных строениях путепровода следует, что для определения НДС пролетных строений железнодорожного путепровода с целью сравнения с нормируемым диапазоном, в качестве статической нагрузки вполне достаточно применение 2-х вариантов загружения: сцепка (локомотив + вагон) и сплотка (3 локомотива).

Полученные результаты напряжений в балочных железобетонных пролетных строениях путепровода, можно использовать в расчетах подобных сооружений на сейсмостойкость, а также в динамических расчетах устойчивости при увеличении эксплуатационной нагрузки на железнодорожные мосты.

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 Казахстана необходимо осуществлять периодический мониторинг НДС искусственных сооружений под эксплуатационными нагрузками.

Ключевые слова: путепровод железнодорожный, балочные пролетные строения, напряженно-деформированное состояние, временная нагрузка, собственный вес, устойчивость, сейсмостойкость.

Information about the authors:

Solonenko Vladimir Gelievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; v.solonenko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6503-6598>

Makhmetova Narzankul Musayevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; makhmetova_n1958@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7324-5832>

Nikolaev Viktor Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Transport University, Russia; NikolaevVA@omgups.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0850-1796>

Kvashnin Mikhail Yakovlevich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; kvashnin_mj55@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>

Bekzhanova Saule Ertayevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; s.bekzhanova@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6272-9567>

Bondar Ivan Sergeevich, Senior lecturer, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; ivan_sergeevich_08@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>

Mirzabaev Serzhan Abilkhanovich, doctoral student, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan; serjan91_2705@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8078-310X>

REFERENCES

- [1] SP 35.13330.2011 Mosty i truby, Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.03-84*, Moskva, 2011.
- [2] SNiP 3.06.07-86 Mosty i truby. Pravila obsledovaniy i ispytaniy. M., 1987.
- [3] Tekhnicheskiy otchet. Obsledovaniye i ispytaniye zheleznodorozhnogo puteprovoda po skheme 16,5+23,6+16,5m cherez avtomobil'nyu dorogu II kategorii na km 56 PK9+50 zheleznodorozhnoy linii Kul'sary-Tengiz. Almaty: AO «KazATK im. M. Tynyshpayeva», 2018. 126 p.
- [4] Vasil'yev A.I. Veroyatnostnaya otsenka ostatochnogo resursa fizicheskogo sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov // Trudy TSNIIS. Vyp. No 208. M.: TSNIIS, 2002. P. 101-120.
- [5] Kvashnin M.Ya., Khasenov S.S., Bondar' I.S. Deformatsii balochnykh proletnykh stroyeniy mostov // Sbornik nauchnykh trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Avtomobil'nye dorogi i transportnaya tekhnika: problemy i perspektivy razvitiya» posvyashchennoy 15-letiyu KazADI im. L. B. Gancharova. Almaty, 2017. P. 43-51.
- [6] Bondar' I.S. Izmereniye deformatsiy balochnykh proletnykh stroyeniy mostov // Mir transporta. 2016. N 6(67). P. 36-51.
- [7] Kvashnin M.YA., Buombayev S.A., Bondar' I.S., Zhangabylova A.M. Vliyaniye vibrodinamicheskogo vozdeystviya lokomotivov s vysokimi osevymi nagruzkami na zh.d. put' i balochnyye zh.b. proletnyye stroyeniya mostov // Trudy KHII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti». Chteniya, posvyashchennyye pamjati professora G. M. Shakhunyantsa. M: MGUPS (MIIT), 2015. P. 163-166.
- [8] Kvashnin M.Ya., Bondar' I.S., Rystygulov P.A., Kystaubayev S.B. Eksperimental'nyye issledovaniya konstruktsiy zheleznodorozhnykh mostov, usilivayemykh kompozitnym materialom // Trudy Shestnadtsatoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost' dvizheniya poyezdov». M.: MGUPS (MIIT), 2015. P. 43-47.
- [9] Buombayev S.A., Kvashnin M.Ya. Diagnostika i monitoring iskusstvennykh sooruzheniy magistral'nykh liniy AO «NK «K.TZH» // Vestnik KazATK. 2016. N 3(98). P. 38-57.
- [10] Bondar' I.S. Vliyaniye podvizhnoy nagruzki na deformatsii proletnogo stroyenya zheleznodorozhnogo mosta // Sbornik trudov s Mezhdunarodnym uchastiyem. Vypusk 7 – «Inzhenernyye sooruzheniya na transporte». M.: MGUPS (MIIT), 2016. P. 64-67.
- [11] Kvashnin M.Ya., Bondar' I.S., Zhangabylova A.M. Monitoring vozdeystviya podvizhnogo sostava na balochnyye proletnyye stroyeniya zheleznodorozhnykh mostov // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transportnaya nauka i innovatsii», posvyashchennoy poslaniyu Prezidenta RK N. A. Nazarbayeva «Nyrlly zhol – put' v budushcheye». Almaty: KazATK, 2015. P. 275-279.
- [12] Makhmetova N.M., Solonenko V.G., Bekzhanova S.E. The calculation of free oscillations of an anisotropic three-dimensional array of underground structures // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 2, N 422. P. 175-184.
- [13] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. Determination of rail voltages after impact of mobile composition // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 5, N 425. P. 262-269.
- [14] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Musayev J.S., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. The method of limiting speed when passing turnouts of railway vehicles with bogies of model zk1 // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 1, N 433. P. 151-162 (in Eng.). <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.19>