

**М.Я. Квашнин<sup>1</sup>, А.А. Жангабылова<sup>2\*</sup>, А.К. Курбенова<sup>2</sup>,  
С.Б. Кыстаубаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

**Авторлар туралы мәліметтер:**

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

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashnin\_mj55@mail.ru

Жангабылова Айгүл Мамытовна – техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9305-3803>, email: zhangabylova82@mail.ru

Курбенова Асель Кожанбердыновна – техникалық ғылымдар магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-6520-7497>, email: asik\_k80@mail.ru

Кыстаубаев Сәкен Бакытжанұлы – техника ғылымдарының магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-4342-1457/>, email: k\_saken\_06@mail.ru

**ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМНЫҢ ЖОЛДАҒЫ ВИБРОДИНАМИКАЛЫҚ  
ӘСЕРІН БАҒАЛАУ КРИТЕРИЙЛЕРІН НЕГІЗДЕУ**

**Аңдатпа.** Бұл әдебиетте жылжымалы құрамның вибродинамикалық әсерінен *Pendrol* және *КПП-5* типті аралық рельс бекіткіштері бар темір жол жолының механикалық тербелістерін өлшеу және талдаудың кейбір нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелерді рельсті бекітудің ең оңтайлы түрін таңдауды негіздеу критерийлерінің бірі ретінде пайдалануға болады.

**Түйін сөздер:** аралық рельс бекітпелер, жылжымалы құрам, тербеліс жылдамдығы, дірілді ауыстырудың осциллограммасы, вибродиагностика.

**Кіріспе**

Теміржолды пайдалану кезінде әсіресе теміржол элементтерінің жұмысына тербелістердің әсерін анықтауға байланысты мәселелер өзекті болып табылады, өйткені локомотивтер мен вагондардың жаңа түрлерін кеңінен енгізу экипаждың жолға әсер ету жағдайларын зерттеуді қажет етеді. Жылжымалы құрамның темір жолға вибродинамикалық әсерін зерттеу ғылыми және практикалық құндылыққа ие, өйткені олар жылжымалы құрамды қауіпсіз пайдалану үшін теміржолдың сенімділігін арттыруға бағытталған.

Темір жол магистральдарында жүрдек және жоғары жылдамдықты қозғалысты іске асыру мүмкіндігі темір жолдар бойынша жылжымалы құрамның қозғалыс қауіпсіздігі деңгейіне айтарлықтай әсер ететін конструкция ретінде жолдың жоғарғы бөлімінің (ЖЖБ) динамикалық күштері жолдың сенімділігін өзара артыру қажеттілігі өзара деңгейімен байланысты екенін көрсетеді.

Жылжымалы құрамнан түсетін жүктеменің әсері кезінде темір жол элементтеріндегі динамикалық процестерді талдауға негізделген, экипаждың

жолға динамикалық әсерін бағалау ұсынылып отырылған әдіс, ең аз діріл әсері бар жол конструкциясын таңдауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл жағдай қолданыстағы теміржол желілерін жоғары жылдамдық сипаттамалары мен білікке түсетін жүктемесі бар жаңа және жаңғыртылған локомотивтер мен вагондарға реконструкциялау кезінде, сондай-ақ жолдың жоғарғы құрылысының әртүрлі конструкциялары бойынша жылжымалы құрамның айналым жағдайларын белгілеу үшін ерекше өзекті болып табылады [1].

Темір жолда қатты жол (темірбетонды шпалдар үшін) бірдей пішіні мен өлшемдегі ауытқулар кезінде дөңгелек пен рельстің өзара әрекеттесуінің негізгі фонының динамикалық күштері серпімдіге (ағаш шпалдарға) қарағанда әлдеқайда жоғары болатыны белгілі. Бұл жағдай рельстердің беріктігіне теріс әсер етеді. Пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, темірбетон шпалдарымен, ағаш шпалдардағы шығарылыммен салыстырғанда, түйіспелі ақауларға арналған рельстердің шығуы айтарлықтай өсті. Темір бетон шпалдары қолданылған учаскелерде, толқын тәрізді рельс тозуының неғұрлым қарқынды қалыптасуы байқалады. Рельсті бекітудің тиімділігінің маңызды көрсеткіштерінің бірі – жол және жылжымалы құрамның өзара әрекеттесуінен туындайтын динамикалық күштер мен тербелістерді азайту. Ол үшін рельс бекітпелерінің конструкциясын, оның ұтымды кеңістіктік серпімділігін қамтамасыз етуі керек.

Жылжымалы құрамнан түсетін жүктеменің әсері кезінде темір жол элементтеріндегі динамикалық процестерді талдауға негізделген, экипаждың жолға динамикалық әсерін бағалауды авторлар ұсынып отырған әдістері бойынша [2-3] ең аз діріл әсері бар жол конструкциясын таңдауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл жағдай қолданыстағы теміржол желілерін жоғары жылдамдық сипаттамалары мен білікке түсетін жүктемесі бар жаңа және жаңғыртылған локомотивтер мен вагондарға реконструкциялау кезінде, сондай-ақ жолдың жоғарғы құрылысының әртүрлі конструкциялары бойынша жылжымалы құрамның айналым жағдайларын белгілеу үшін ерекше өзекті болып табылады.

### **Материалдар мен әдістер**

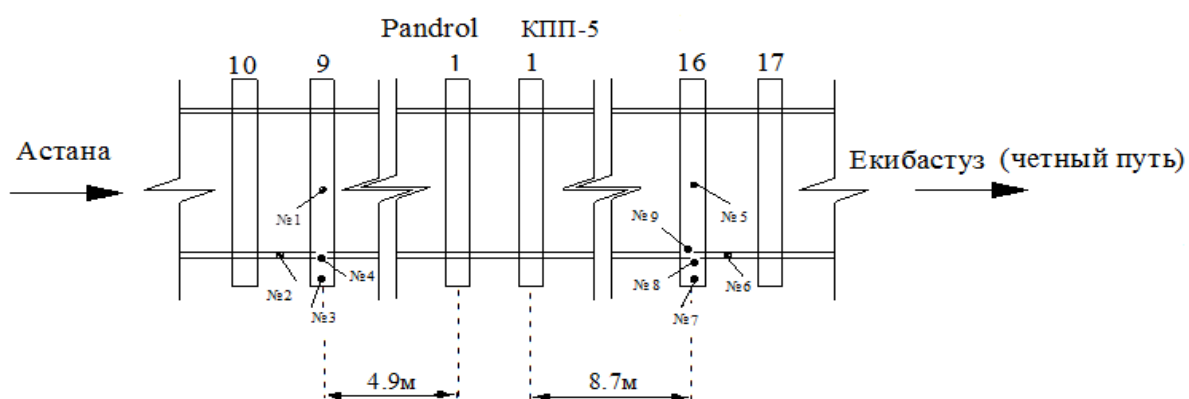
Эксперименттік зерттеулер АҚ «ҚТЖ»ҰК» Екібастұз жол дистанциясының (УПЧ-30) учаскесінің 227-228 шақырымында орындалды.

### **Нәтижелер және талқылау**

Бекіткіштер жасаған серпімділік серіппелер көлік құралының корпусын оның жүріс бөлігінен бөлетіндей, рельстің массасын рельс асты негізінен бөледі. Бұл дөңгелектер біркелкі емес жол бойымен қозғалған кезде пайда болатын инерция күштерін айтарлықтай азайтады. Алайда, тіректердің төмен тік және көлденең қаттылығы кезінде доңғалақ жүктемесінің астындағы рельс жіптерінің статикалық иілісі артады, сонымен қатар рельстердің көлденең қималарының бұрылуы да артып, қозғаушы (угон пути) әсерін тудырады. Осыған байланысты жолдың ұтымды (оңтайлы) кеңістіктік икемділігі ұғымы туындайды, онда жол мен жылжымалы құрамның өзара әрекеттесуі ең жақсы болады, ал соңғысының кернеулері, деформациялары және жинақталуы минималды болады.

Pandrol және КПП-5 рельс бекіткіштерінің динамикалық жұмысын салыстыру үшін авторлар осы рельс бекіткіштерінің интерфейсында жылжымалы құрамның әсерінен жол құрылымдарының жауап беру параметрлеріне толық ауқымды тәжірибелік зерттеулер жүргізді. Зерттеулер «Қазақстан темір жолы» Екібастұз жол дистанциясының негізгі учаскесінде (УПЧ-30) жүргізілді.

Діріл датчиктері (велосиметрлер) рельс-шпалдық тор элементтерінің және тұтастай теміржол жолының жұмысының неғұрлым толық көрінісін алу мүмкіндігі шарттарына сүйене отырып орнатылды. Рельс табанына және рельс бекіптелеріне, сондай-ақ темірбетон шпалына датчиктерді орнату үшін, әртүрлі қосалқы құрылғылар пайдаланылды: қысқыштар, қысқыш болттар және датчикті темірбетонға арнайы клейдің көмегімен жапсырдық. 1-ші суретте датчиктердің орналасуы толық көрсетілген.



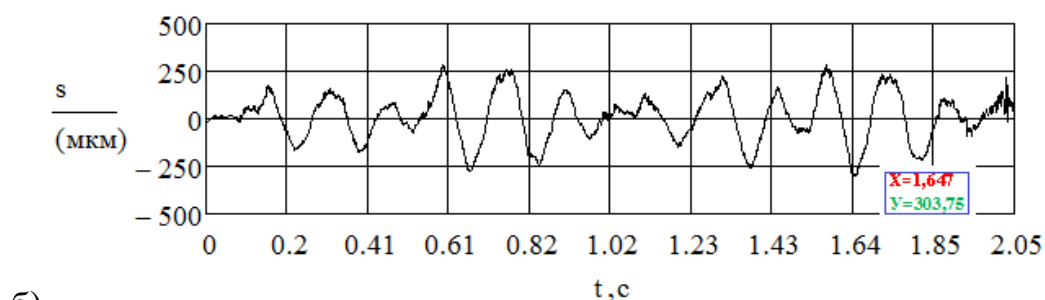
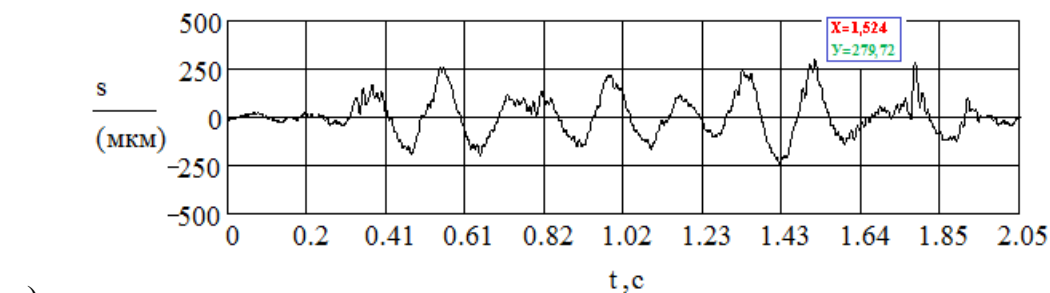
1-сурет – Датчиктің орналасуының схемасы [авторлар материалы]

№1 – темірбетон шпалдың ортасында; №2 – рельстің табанында; №3 – темірбетон шпалының шетінде; №4 – Pandrol Fast Clip бекітпесінде; №5 – темірбетон шпалдың ортасында; №6 – рельстің табанында; №7 – темірбетон шпалының шетінде; №8 – КПП-5 бекітпесінің рельс сырдында; №9 – КПП-5 бекітпесінің рельс ішінде орналасуы

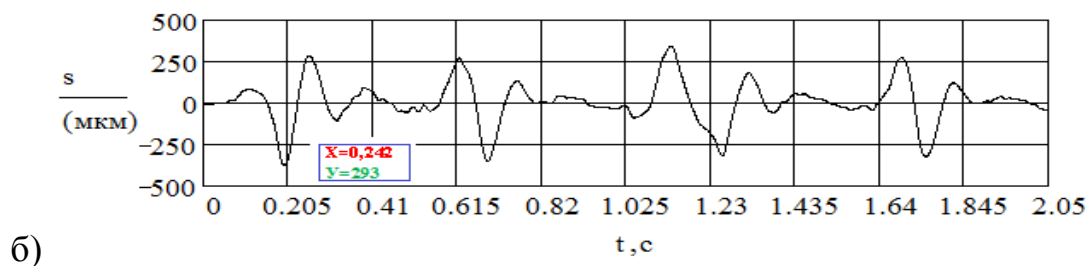
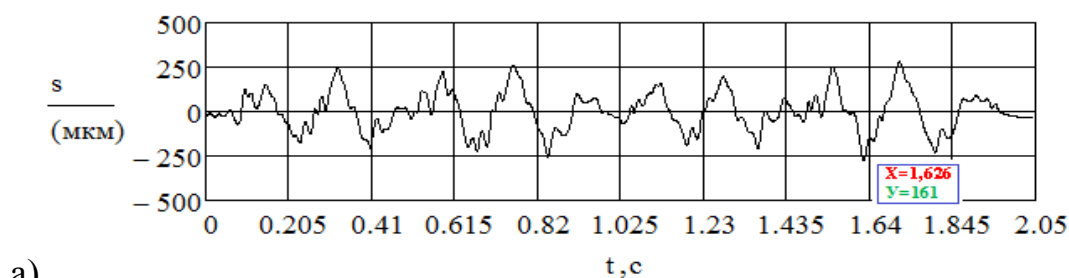
Өлшеу құралы ретінде діріл датчиктерінің жиынтығы және деректерді өңдеу және визуализация үшін қолданбалы бағдарламалар пакеті бар жылжымалы дірілді өлшеу кешені пайдаланылды. Жылжымалы дірілді өлшеу кешенінің техникалық сипаттамалары мен бағдарламалық қамтамасыз етілуі [4]-да жеткілікті түрде егжей-тегжейлі берілген, ал цифрлық сигналды өңдеу техникасы [5]-да сипатталған.

Теміржол жолының элементтерінің механикалық тербелістерін жазу осы учаскенің сипаттамалары бірдей екі учаскесінде (Р65 типті рельс, қиыршық тас балласт.), жолдың түзу учаскесінде жүргізілді. Pandrol Fastclip және КПП -5 (227 км), Уленты – Боцакуль аралығындағы перегонда жұп жолда, үйіндінің биіктігі 1,5 м, негізгі алаңының ені 9,6 м учаскесінде зерттеу жүргізілді.

2,3-суретте ВЛ-80° электровозының 85 км/сағ жылдамдықпен өтуі кезінде алынған Pandrol Fastclip және КПП-5 бекітпелері бар жолдың рельс табаны мен шпалдың ортасының дірілді орын ауыстыруы (виброперемещения) көрсетілген.



2-сурет – ВЛ80<sup>с</sup> электровозының 85 км / сағ жылдамдықпен өту кезінде Pandrol Fastclip (а) және КПП-5 (б) бекіткіштері бар рельс табаының дірілді орын ауыстыруы (виброперемещение) [авторлар материалы]



3-сурет – ВЛ<sup>80с</sup> электровозының 85 км/сағ жылдамдықпен өту кезінде Pandrol Fastclip (а) және КПП-5 (б) бекітпесі бар шпал ортасының діріл орын ауыстыруының осциллограммасы [авторлар материалы]

Объектінің күйін сипаттайтын ақпараттық параметрлер жиынтығы діріл процесінің келесі сапалық және сандық құрамдастарын қамтиды:

– дірілді орын ауыстыру (виброперемещение) – рұқсат етілген механикалық кернеулер мен саңылаулар бойынша орын ауыстыру критикалық болған жағдайда бағалау үшін қолданылатын дененің тепе-теңдік жағдайына қатысты тербелмелі қозғалысы;

– тербеліс жылдамдығы (виброскорость) – тербеліс күшін сипаттайтын тербелістің орын ауыстыруының уақыт туындысы

$$P=mv, \quad (1)$$

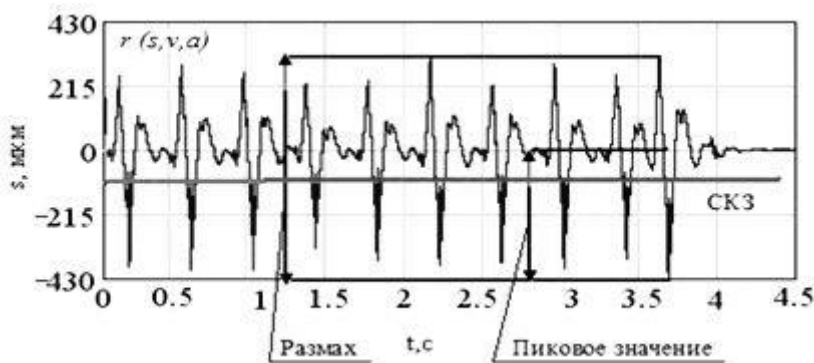
мұндағы;  $P, m, v$  – қуат, объектінің массасы, механикалық тербеліс жылдамдығы;

– тербеліс үдеуі (виброускорение) – тербеліс кезінде объектіге әсер ететін инерциялық күшті сипаттайтын тербеліс жылдамдығының уақыттық туындысы

$$F=ma, \quad (2)$$

мұндағы  $F, a$  – инерциялық күш және тербеліс үдеуі.

Механикалық тербелістерді сандық бағалау үшін келесі параметрлер пайдаланылды: құлаш (размах), ең жоғарғы мәні, орташа квадраттық мән (СКЗ) (4-сур.).



4-сурет – Полигармониялық тербеліс қисығы [авторлар материалы]

Құлаш (размах)  $r_r(s_r, v_r, a_r)$  – құбылмалы шаманың ең үлкен және ең кіші мәндерінің арасындағы айырмашылық.

Ең жоғарғы мәні  $r_p(s_p, v_p, a_p)$  – өзгермелі шаманың максималды ауытқуларының ең үлкен абсолютті мәні.

Орташа квадраттық мән (СКЗ) ең маңызды параметр болып табылады, себебі ол зерттелетін тербелістердің уақытша дамуын ескереді және ол сигнал энергиясымен байланысты мәнді, демек, осы тербелістердің деструктивті күшін тікелей көрсетеді. Егер өзгермелі шаманың  $N$  дискретті мәні болса, онда орташа квадраттық мәні төмендегідей:

$$r_e(s_e, v_e, a_e) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i^2}, \quad (3)$$

мұндағы  $s_e, v_e, a_e$  – тиісінше орташа квадраттық мән (СКЗ) дірілді орын ауыстыру, тербеліс жылдамдығы және тербеліс үдеуі [5-8].

ВЛ-80° электровозының 85 км/сағ жылдамдықпен түйсетін бекітпелер учаскесі бойымен өтуі кезінде  $v_{ш}$  – анықталады, ол шпал тербелістерінің

тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәні (СКЗ);  $v_p$  – 1-кестеде келтірілген рельс тербелістерінің тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәні (СКЗ) және жылжымалы құрамның жолдағы вибродинамикалық әсерін бағалау критерийлері көрсетілген.

1-кесте – Темір жол жолының техникалық жағдайы туралы мәліметтер

Телім		2 телім (УПЧ-30)	
Бекітпелер түрі		Pandrol Fastclip (227км)	КПП-5 (228км)
Жолдың техникалық сипаттамасы: жолдың класы, тобы және категориялары		1В2	
Өткізіліп алған тоннаж, млн.тн.км.бр		236,4	
Соңғы жолдың күрделі жөндеу жылы		2010	
Жолдың күйін бағалау, балл		2014 жылдың тамыз айындағы көрсеткіштер	
		39	54
Бағалау критерийлері	n, шт	13	27
	$v_{ш}$ , мм/с	52,20	66,60
	$v_p$ , мм/с	41,39	51,13
	$\beta$	1,26	1,30
	$A_p$ , о.ед.	7030	11136
	$A_{ш}$ , о.ед.	6807	10641
	$\gamma = \frac{A_p}{A_{ш}}$	1,03	1,05

*Ескертулер:* n – 2-дәрежелі анықталған ақаулар саны;  $v_{ш}$  – шпал тербелістерінің тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәні (СКЗ);  $v_p$  – рельс тербелістерінің тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәні (СКЗ);  $\beta$  – рельс тербелістерінің тербеліс жылдамдығы амплитудасының шпал тербелістерінің тербеліс жылдамдығына қатысты әлсіреу коэффициенті;  $A_p$  – рельстің спектрлік қуат тығыздығының (діріл жылдамдығы спектрінің) ауданы;  $A_{ш}$  – шпалдың қуат спектрлік тығыздығының (діріл жылдамдығының спектрі) ауданы;  $\gamma$  - рельстің діріл жылдамдығы спектрі ауданының шпалдың тербеліс жылдамдығы спектрінің ауданына қатынасы.

### Қорытынды

Pandrol және КПП-5 аралық рельс бекіткіштері бар жол элементтерінің тербелістерін талдау мынаны көрсетті:

– аралық рельсті бекіту түрі жылжымалы құрамның вибродинамикалық әсеріне жол құрылымының реакциясының сандық сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді;

– жылжымалы құрамның жолға вибродинамикалық әсерін сапалық және сандық бағалаудың негізгі критерийлері ретінде жолдың динамикалық жұмысын аралық рельс бекітпелерінің әртүрлі түрлерімен салыстыру үшін, ең жоғарғы мәні мен түбірді алу ұсынылады;

– рельс табанының шпалдың ортасындағы және шпалдың ортасындағы тербеліс жылдамдығының орташа квадраттық мәндері;

– аралық рельсті бекіту Pandrol жылжымалы жүктеме кезінде жолдың динамикалық жұмысы жағдайында КПП-5 аралық рельс бекітпесіне қарағанда айтарлықтай жақсы өнімділікке ие;

- КПП-5 бекітпесі үшін экономикалық тиімділікті қамтамасыз ету сондай-ақ жолдың барлық элементтерінің жоғары қызмет мерзіміне және оларды пайдаланудың оңтайлы жағдайларына қол жеткізу мәселелері бойынша қосымша зерттеулер қажет.

**Әдебиеттер:**

1. Квашнин Н.М. Исследование механических колебаний железнодорожного пути: дисс... канд. тех. наук. Алматы: 2010, 144 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002, 608 с.
3. Жангабылова А.М. Выбор типа промежуточных рельсовых скреплений методом вибродиагностики: дисс... канд. тех. наук. Москва: 2019, 169 с.
4. Квашнин М.Я. Влияние типа скреплений на динамическую работу пути. Мир транспорта. 2015, 3, 72–76.
5. Жангабылова А.М. Выбор конструкции промежуточного скрепления методами вибродиагностики. Мир транспорт. 2016, 4, 32–40.
6. EN 13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration.
7. VDI 3837:2006 Ground-borne vibration in the vicinity of local public transport railways.
8. 100 EN 13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration.

**References:**

1. Kvashnin N.M. (2010) Issledovanie mehanicheskikh kolebaniy zheleznodorozhnogo puti [The study of mechanical vibrations of the railway track] Diss... kand. teh. nauk.= Diss ... cand. those. Sciences. 144. (in Russ.)
2. Sergienko A.B. (2002) Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing]. - St. Petersburg: Peter, 608. (in Russ.)
3. Zhangabylova A.M. (2019) Vyibor tipa promezhutochnykh relsovykh skrepleniy metodom vibrodiagnostiki [The choice of the type of intermediate rail fastenings by the method of vibration diagnostics] Diss... kand. teh. nauk.= Diss ... cand. those. Sciences. 169. (in Russ.)
4. Kvashnin, M.Ya. Vliyaniye tipa skrepleniy na dinamicheskuyu rabotu puti [Influence of the type of fasteners on the dynamic work of the track] Mir transporta = World of Transport. 2015, 3, 72–76. (in Russ.)
5. Zhangabylova A.M. Vyibor konstruksii promezhutochnogo skrepleniya metodami vibrodiagnostiki [The choice of intermediate fastening design by vibration diagnostics methods] / Mir transporta = World of Transport. 2016, 4, 32-40. (in Russ.)
6. EN 13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration, 2002. (in Eng.)
7. VDI 3837:2006 Ground-borne vibration in the vicinity of local public transport railways, 2006. (in Eng.)
8. 100 EN 13481-6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration, 2002. (in Eng.)

**М.Я. Квашнин<sup>1</sup>, А.А. Жангабылова<sup>2\*</sup>, А.К. Курбенова<sup>2</sup>, С.Б. Кыстаубаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**Информация об авторах:**

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

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashnin\_mj55@mail.ru

Жангабылова Айгуль Мамытовна – кандидат технических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Басенова, г. Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9305-3803>, email: zhangabylova82@mail.ru

Курбенова Асель Кожанбердыновна – магистр технических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Басенова, г. Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-6520-7497>, email: asik\_k80@mail.ru

Кыстаубаев Сакен Бакытжанович – магистр технических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Басенова, г. Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-4342-1457/>, email: k\_saken\_06@mail.ru

## ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВИБРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ПУТЬ

**Аннотация.** В данной статье приведены некоторые результаты измерений и анализа механических колебаний железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми скреплениями типа Pendrol и КПП-5 при вибродинамическом воздействии подвижного состава. Полученные результаты могут использоваться в качестве одного из критериев обоснования выбора наиболее оптимального типа рельсовых скреплений.

**Ключевые слова:** промежуточные рельсовые скрепления, подвижной состав, виброскорость, осциллограмма виброперемещений, вибродиагностика.

**М.Я. Kvashnin<sup>1</sup>, А.А. Zhangabylova<sup>2\*</sup>,  
А.К. Kurbanova<sup>2</sup>, S.B. Kystaubayev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

### Information about the authors:

Kvashnin Mikhail Yakovlevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>, email: kvashnin\_mj55@mail.ru

Zhangabylova Aigul Mamytova - Candidate of Technical Sciences, K.I. Basenov Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9305-3803>, email: zhangabylova82@mail.ru

Kurbenova Asel Kozhanberdynovna – Master of Technical Sciences, K.I. Basenov Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-6520-7497>, email: asik\_k80@mail.ru

Saken Bakytzhanovich Kystaubayev – Master of Technical Sciences, K.I. Basenov Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4342-1457/>, email: k\_saken\_06@mail.ru

## VIBRODYNAMIC MOVEMENT OF ROLLING STOCK ON THE ROAD SUBSTANTIATION OF IMPACT ASSESSMENT CRITERIA

**Abstract.** This article presents some results of measurements and analysis of mechanical vibrations of a railway track with intermediate rail fasteners such as Pendrol and KPP-5 under the vibrodynamic influence of rolling stock. The results obtained can be used as one of the criteria for justifying the choice of the most optimal type of rail fasteners.

**Keywords:** intermediate rail fastenings, rolling stock, vibration velocity, vibration displacement, vibration waveform, vibration diagnostics.