

К.Г. Балабекова, А.Б. Забиева, А.Б. Оразалина

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,  
Астана, Казахстан

## Теміржол калибрлерін өзгерту жүйелерін зерттеу

**Аңдатпа.** Мақалада теміржол калибрлерін өзгерту жүйелері зерттелген. Қазіргі таңда бір елден екінші елге өткен кезде стандартты рельстер 1435 мм – ден 1520 мм-лік теміржол рельсіне түрленеді. Дөңгелектер мен теміржолдар арасындағы байланыс қысымын есептеу нәтижесінде максималды байланыс қысымы 534 МПа деңгейінде болды және мұны «Байланыс қысымы және қызмет ету мерзімі» анықтамалығындағы мәліметтермен салыстыруға болады, онда байланыс қысымының циклдарға тәуелділік қисығы 1 орташа баллдан төмен байланыс қысымы деңгейінде 104 миллион циклды көрсетеді. Анықтамалықтағы мәліметтерге сүйене отырып, 534 МПа байланыс қысымы деңгейінде тозу салдарынан шаршаудың бұзылуы күтілмесе де, байланыс аймағындағы шаршаудың бұзылуы беттің күйіне және сыртқы жағдайларға байланысты, сондықтан бетті майлау және техникалық қызмет көрсету үнемі жүргізілуі керек екендігіне көз жеткізілді.

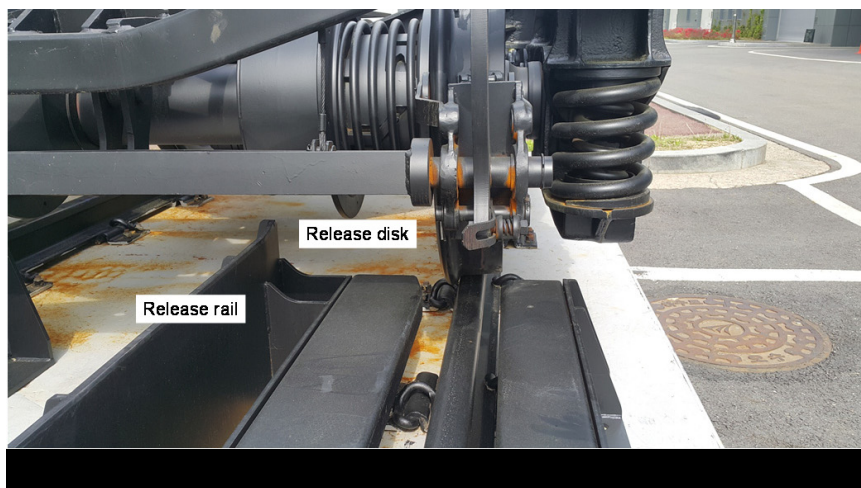
**Түйін сөздер:** теміржол, шығыр рельсі, шығыс дискі, рельс, Мизес фоны, ойық рельс, калибр, қаттылық, жүктеме, құлыпты ашу.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-143-153](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-143-153)

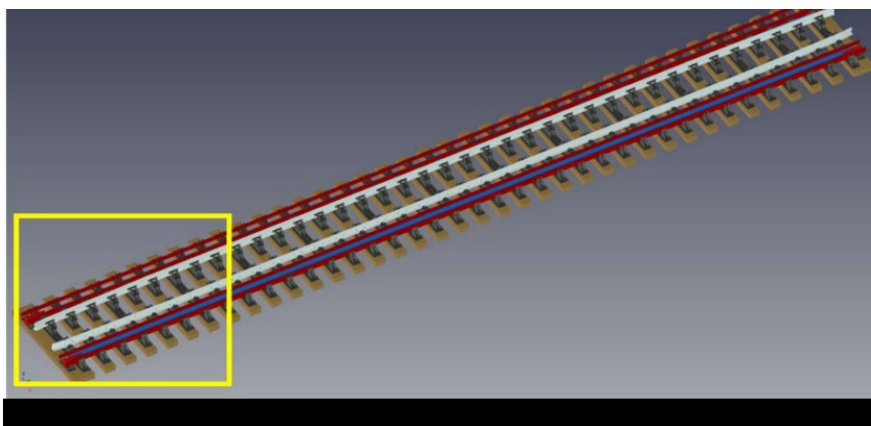
### 1. Кіріспе

Трансконтинентальды теміржол желісін байланыстыру үшін әр түрлі елдердегі шекаралардағы үзіліс мәселесін шешу өте маңызды. Қазіргі уақытта ең жақсы шешім калибрлеу жабдығын автоматты түрде ауыстыратын жабдықты пайдалану болып көрінеді. Қазақстан мен Қытай сияқты елдер трансконтинентальдық желі арқылы тасымалдаудың тиімділігін барынша арттыру үшін калибрлерді автоматты түрде ауыстыратын жабдықты әзірлейді және коммерцияландырады. Сондай-ақ қолайлы логистикалық қызметті табуға күш салынауда. Бұл мақалада бірнеше елдердегі осы жабдықтың технологиясы мен даму тенденциялары дамудың тарихи және ағымдағы жағдайын, жұмыс механизмін және техникалық мәселелерді тексеру және талдау арқылы көрсетілген. Калибрді автоматты түрде ауыстырудың негізгі технологиясы біздің елімізде жеткілікті дамымағандықтан, бұл зерттеудің мақсаты зерттеу бағытын анықтауға және халықаралық ынтымақтастықтың практикалық жолдарын іздеуге арналған тәсілді іздеу болып табылады.

Стандартты 1435 мм рельсті теміржолдан ені 1520 мм кең рельсті теміржолға түрлендіруді жүзеге асыру үшін арба рельсіне құлыптан босату дискісі орнатылады және бұғатталған арба осінің күйі құлыптан босату дискісі жанасатын әрекет принципінің арқасында босатылады. Арба алға жылжып бара жатқанда рельсті босатыңыз. Құлыпты ашу бөліміндегі реттелетін бағыттаушы құлыпты ашу калибрлі және құлыпты ашу дискісі жүйесі 1 суретте көрсетілген.. Ұзындығы 2380 мм айнымалы теміржол құлпын ашу бөлімі 2 суретте көрсетілген.



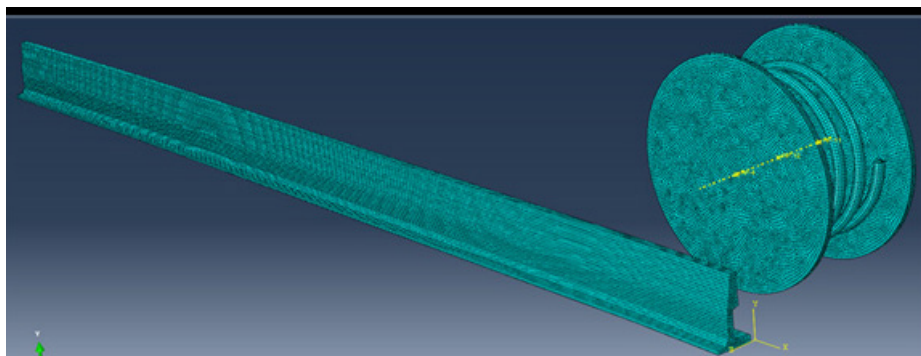
Сурет 1. Шығыс рельсінің және шығыс дискінің реттелетін калибрлі жүйесі



Сурет 2. Айнымалы калибрлі жүйе үшін теміржол жолының босату учаскесі

## 2. Әдістер

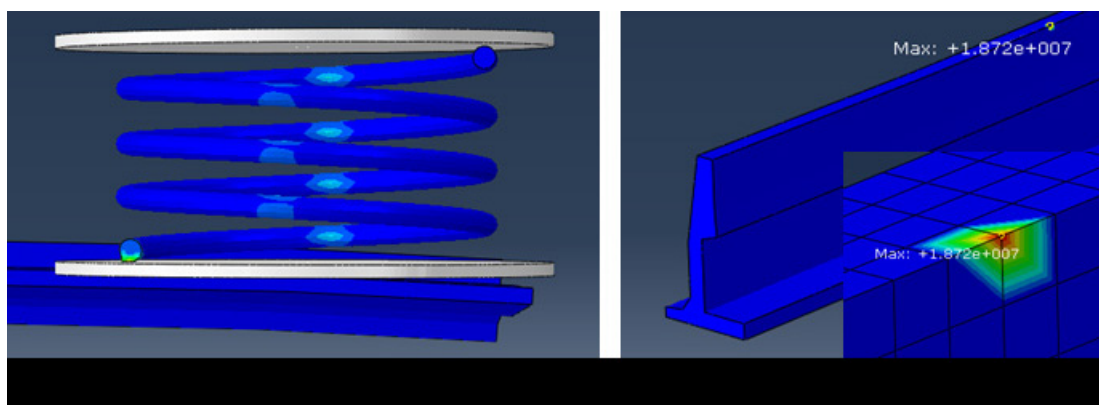
Стандартты калибр мен кең калибр арасындағы калибрлі түрлендіруді орындау үшін арба осіне калибрлі жүйенің құлпын ашу үшін құлыптан босату дискісі орнатылады. Бекітілген бөлік ретінде бекіткіштің бағыттаушысы 3-суреттегі бекіту бөлімінде орнатылған. SS400 төмен көміртекті болаттан жасалған. Бөлу дискісі 190 ГПа Юнг модулі және 520 МПа созылу күші бар STS304 тот баспайтын болаттан жасалған. Abaqus көмегімен соңғы элементтерді динамикалық талдау үшін модель мен тор 4-суретте көрсетілген. Әрбір модель қатты алтыбұрышты элементті, 16 848 элементтен тұратын серіппені, 23752 қатты элементтен тұратын шығыс дискісін және 62505 қатты элементтен тұратын шығыс рельсін пайдаланып жасалған. Тордың конвергенциясы соңғы элементтерді қолдана отырып, барлық есептеулерде расталды.



Сурет 3. Барлық геометрияның ақырлы элементтері

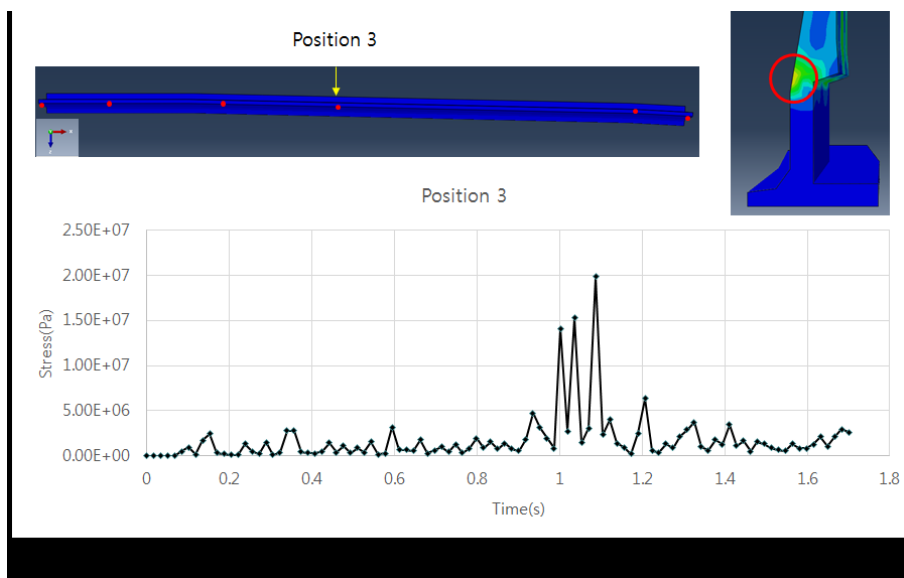
4-суретте көрсетілген байланыс қысымы ажыратқыш 5 км/сағ жылдамдықта рельске бірінші рет тиген кезде және 5 км/сағ жылдамдықта бастапқы жанасу кезінде шамамен 18,7 МПа қысым мәні есептелді. Шығыс дискісі Шығыс рельсінің көлденең бөлігіне жетуі үшін шамамен 1,7 секунд қажет. Соққы аймағындағы байланыс қысымы кірістілік шегінен асып түседі және егжей-тегжейлі берілген. 5 км/сағ жылдамдықпен қозғалатын арба үшін үш позициядағы жанасу қысымы 350 МПа-ға дейінгі кірістілік шегінен асады және олардың орналасуы а суретте көрсетілген. Арбаның жылдамдығы үшін 10 км/сағ байланыс қысымының орналасуы және олардың схемасы 5 суретте көрсетілген.

### 3. Нәтижелер мен талқылаулар

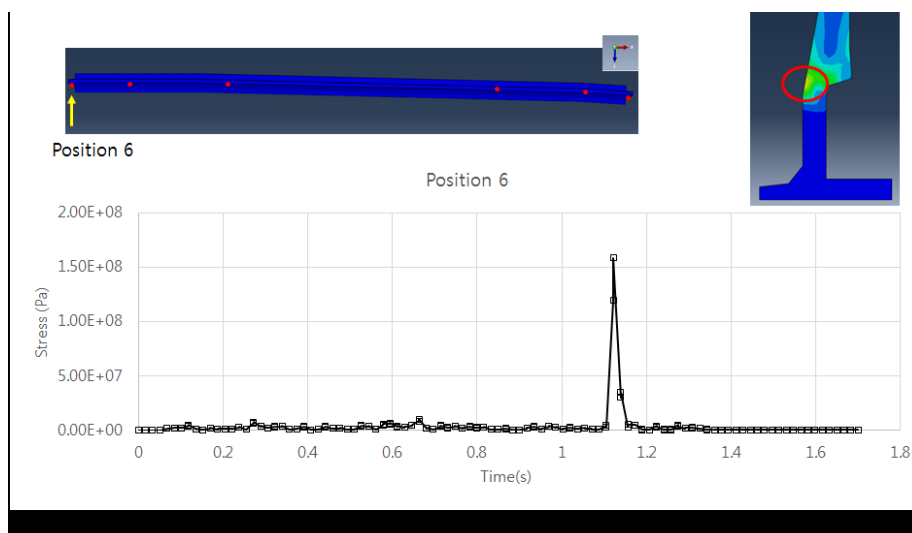


Сурет 4. Бастапқы соққы кезіндегі байланыс қысымы (5 км/сағ)

Соққы элементінің жанасу қысымы аққыштық шегінен асып кеткендіктен, бұл жанасу аймағына дереу зақым келтіруді білдірмейді, бірақ бұл жергілікті пластикалық деформация немесе жарықтардың ұзақ уақыт тозуы сияқты шаршау зақымдануы мүмкін дегенді білдіреді. Арба 5 км/сағ және 10 км/сағ жылдамдықпен қозғалғанда, басқа жоғары жүктеме орындары анықталады; олардың кернеу тарихы суретте көрсетілген. Сәйкесінше 5 және 6 сурет. Кернеулер тарихынан фон Мизес бойынша максималды кернеу 5 км/сағ арба жылдамдығында 20 МПа және 10 км/сағ арба жылдамдығында 160 МПа құрайды.



Сурет 5. Арбаның жылдамдығы 5 км/сағ болатын фон Мизес бойынша максималды кернеу



Сурет 6. Арбаның жылдамдығы 10 км/сағ болатын фон Мизес бойынша максималды кернеу

Байланыс аймағының тозуы жанасу қысымының шамасымен және сырғанау жылдамдығымен көрсетілуі мүмкін. Бұл деректер Archard wear формуласын қолдана отырып, тозу коэффициентінің мәнін анықтайтын Bombardier компаниясы жүзеге асыратын теміржол жолдарының тозуы туралы ақпарат пен көрсеткіштерге қатысты. Орындалған талдауда Шығыс дискісі мен Шығыс рельсі арасындағы байланыс қысымы 5 км/сағ (1,39 м/с) жылдамдықта 350 МПа үшін орташа тозу шарты ретінде қарастырылады, бұл өзгермелі калибрдің эксплуат пайдалану саласында ерекше проблемалар туғызбайды. жүйе.

Тозу байланыс бетінің пішіні және майлау жағдайлары сияқты белгісіздіктерге байланысты болғандықтан, бөлу дискісі мен бөлу рельсі арасындағы майлауды қолдану тозуға байланысты мәселелердің алдын алады. Сондықтан, сілтеме жасай отырып, біз бекіткіш бағыттаушы үшін тиісті майлауды қолданудың маңыздылығын атап өтеміз. Құрғақ болған кезде тозу жылдамдығы 8,0 г/м/мм<sup>2</sup>-ден асады, бірақ майлау кезінде ол 1,0 г/м/мм<sup>2</sup>-ден төмен мәнге дейін төмендейді. Орындалған сандық есептеулер Шығыс рельсі

мен Шығыс дискісі арасында аз ғана тозу бар екенін көрсетті; майлау материалдарын қолдану нақты инженерлік қосымшаларда белгісіздікті азайтады. Майлау материалдарын қолдану кестесі-бұл нақты техникалық қызмет көрсету және рельстердің күйін тексеру кезінде ескеру қажет тағы бір мәселе.

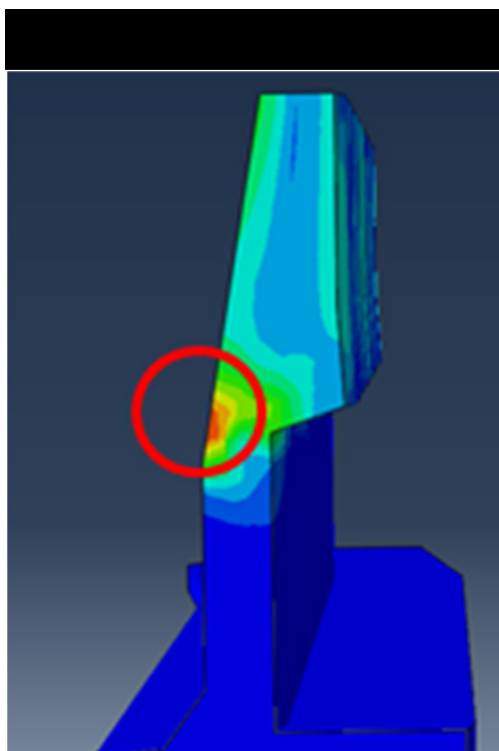
Кесте 1

Қысым (GPa)	Сырғанау жылдамдығы [м/с]	Тозу коэффициенті,	Тозу жағдайы
0-2	0-0.2	1-10	Орташа тозу (оксид)
0-2	0.2-0.7	30-40	Қатты тозу
0-2	0.8-1	1-10	Орташа тозу (жоғары тотығу жылдамдығы)
2-3	0-1	300-400	Түсіру

Талдау нәтижелері шаршау жүктемелерін бағалау және рельстің өмірлік циклін болжау үшін пайдаланылды. Моришита және т.б. кернеудің эквивалентті амплитудасының корреляциясы арқылы шаршау сызығын ұсынады шаршау циклдарының саны. Бағыттаушы рельс жасалған төмен көміртекті SS400 болаты үшін E шаршауға төзімділік шегі шамамен 175 МПа болды. Егер өтімділік шегі, Y, SS400 үшін 245 МПа болса, шаршау критерийлері консервативті түрде қарастырылады.

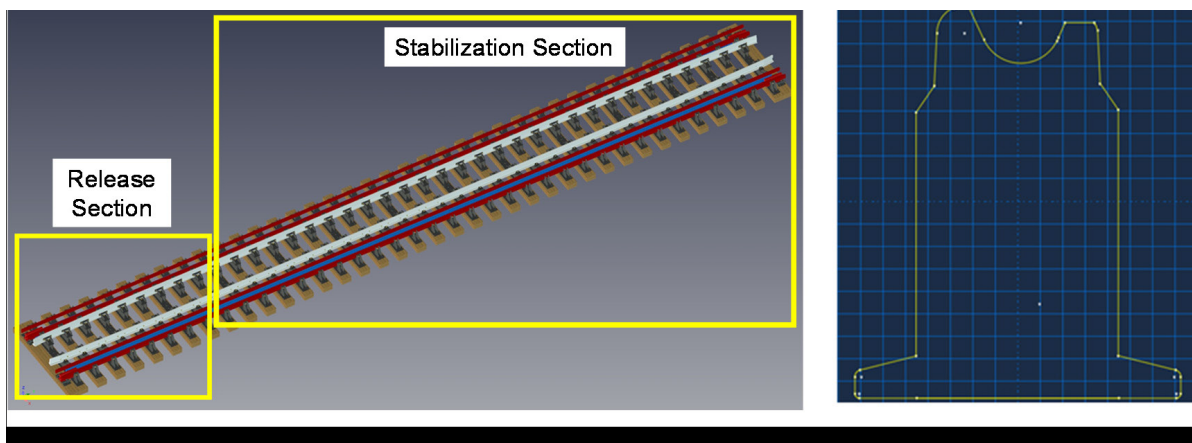
#### 4. Қорытынды

Содерберг критерийлерін қолдана отырып, шаршау ресурсын есептеу кезінде әдетте негізгі кернеулер қолданылады. Сонымен қатар, шаршауды бағалау үшін қол қойылған фон Мизес теориясын қолдануға болады, егер  $\sigma_2/\sigma_1$  қосарланған коэффициенті нөлден аз болса. 5 км/сағ жылдамдықта 20 МПа фон Мизес әдісімен кернеу деңгейін ескере отырып, арба айнымалы жолдың ені учаскесінде 5 км/сағ жылдамдықпен қозғалғанда, айнымалы жолдың шығыс рельсі шаршау зақымына ұшырамайтынын растауға болады, өйткені кернеу деңгейі шаршауға төзімділіктен әлдеқайда төмен. шегі 175 МПа. Шаршаудың қызмет ету мерзіміне қатысты белгісіздікті азайту үшін кернеудің үлкен концентрациясы болатын 7-суретте көрсетілген бағыттаушы мойын аймағын күшейту ұсынылады.



Сурет 7. Шығару рельсінің мойнындағы кернеулердің концентрациясы

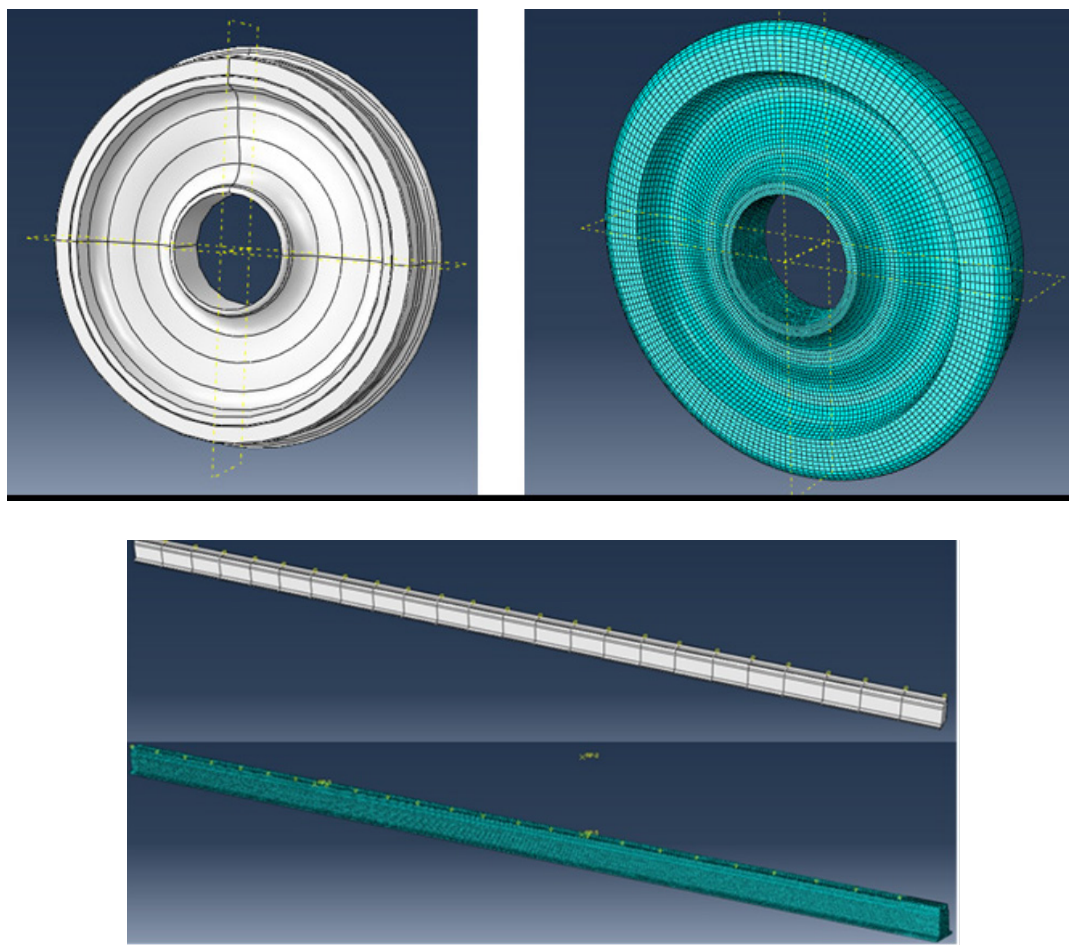
Арбадағы айнымалы жол ені жүйесі өшірілгеннен кейін, ол 12260 мм тұрақтандыру жолының бөлігі арқылы өтеді, бұл арбаның дөңгелектері арасындағы қашықтықты стандартты теміржол жолынан кең жолға өзгертеді. Бұл ауыспалы теміржолдың еден жоспары келесідей. Жолдың ені өзгертін Рельс Ойық тәрізді бөліктен жасалған, ол жолдың кеңеюі кезінде дөңгелекті қолдау үшін әдеттегі бағыттаушыдан ерекшеленеді және оның көлденең қимасы көрсетілген.



Сурет 8. Шығару және тұрақтандыру секциясының және жолдың көлденең қимасының түрі

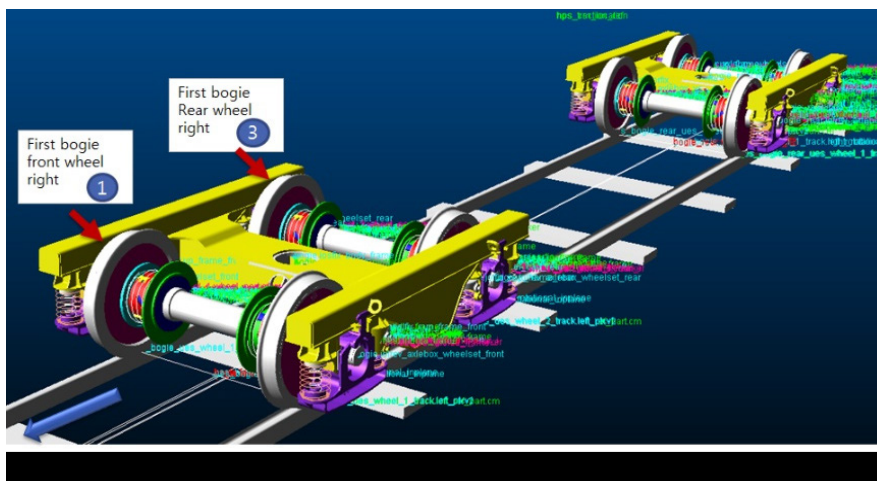
Түсіру және тұрақтандыру бөліміндегі теміржол жолы UIC 60 рельсімен бірдей материалдан жасалған. Оның беріктігі жоғары болаттың қасиеттері бар: 880 МПа созылу беріктігі және 580 МПа кірістілік шегі. Соңғы элементтерді талдау үшін тұрақтандыру рельс бөлімінде ойық бөліміндегі айнымалы ені бар доңғалақ пен өлшеуіш модельденді.

Жасалған торда дөңгелектерге қолданылатын 53 879 элементі бар қатты алтыбұрышты элемент және суретте көрсетілгендей бағыттаушы тұрақтандыру үшін 180 600 элемент пайдаланылды.



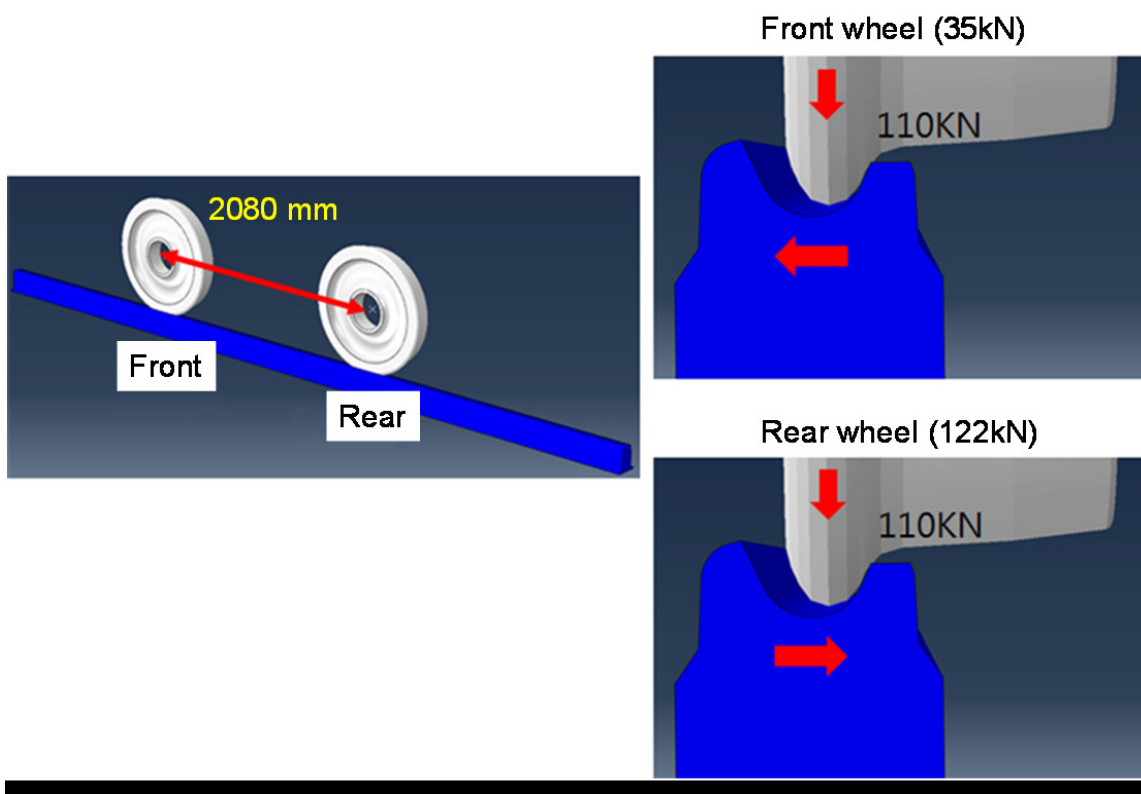
Сурет 9. Арба дөңгелегі мен тұрақтандырушы теміржолдың ақырлы элемент моделі

Бірнеше корпустың динамикалық талдауы арба 10-суретте көрсетілген жалпы калибрді өзгерту учаскесінен 5 км/сағ жылдамдықпен өткенде орындалады. Доңғалақ пен рельс арасындағы әрекет етуші және әрекет етуші күшті өлшеу нәтижелері көп фюзеляжды динамикалық арба мен жолды талдау нәтижесінде алынған, тұрақтандыру жолындағы ойық рельсті талдау үшін кіріс жүктемелері ретінде пайдаланылды. Үш өлшемді модель және көп денелі динамикалық модельдің нөмірленуі 10-суретте көрсетілген, сонымен қатар әр дөңгелекке қолданылатын байланыс күштерінің уақытша тарихы көрсетілген.



Сурет 10. Айнымалы калибрлі арба мен рельсті көп корпусы динамикалық талдау

11-суретте көрсетілген байланыс күшінің тарихына сүйене отырып, жүк пойызының салмағынан 85 кН тік жүктеме қолданылады. Алдыңғы доңғалақта максималды бүйірлік күш сәйкесінше алдыңғы доңғалақ пен артқы доңғалақ үшін 35 кН және 122 кН құрайды. Бұл бүйірлік күштер тұрақтандыру бөліміндегі бүйірлік теңгерімсіздіктен туындайды. Байланыс күшінің тарихына сүйене отырып, артқы доңғалақ алдымен жолға соғылады, алдыңғы доңғалақ жауап береді және ақырында арбаның қозғалысы тұрақтанады. Шынжыр табанды құрылымдық талдау үшін максималды бүйірлік жүктемелер консервативті бағалау үшін KRL-2012 стандартты есептеу жүктемесіндегі байланыс күші мен 110 кН тік күш тарихынан алынады. Жүктеменің шарттары жинақталады.



Сурет 11. Арба дөңгелектерін талдау моделі және тұрақтандыру жолдары және жүктемені қолдану



Біз құрылымдық талдаудан алынған жүктеме нәтижелері айнымалы калибрлі теміржолды тұрақтандыру учаскесіндегі ойық рельске қолданылатын S–N шаршау қисығын қолдана отырып, рельстің шаршау ресурсын болжауды көздедік. Алдыңғы бөлімде сипатталған рельстердің негізгі кернеулерінің максималды мәндері келесідей жинақталады.

- Ойық рельстің сыртқы беті: 39,1 МПа (максималды негізгі кернеу)
- Ойық рельстің ішкі беті: 67,4 МПа (максималды негізгі кернеу)
- Ойық рельстің төменгі беті: 37,3 МПа (максималды негізгі кернеу)
- Теміржол дөңгелегі арасындағы максималды байланыс қысымы: 534 МПа

Болжалды төзімділік шегі шамамен 180 МПа болғанда, негізгі кернеудің максималды деңгейі 67,3 МПа шаршау проблемаларын тудыруы екіталай. Алайда, өзгертілген Шахтер ережесіне негізделген шаршаудың беріктігін бағалау үнемдеу мақсатында жүзеге асырылды. Содербергтің шаршау критерийлерін қолдана отырып, шаршау жағдайларының болжамды саны 39 878 000 болды. 16 жүк пойызы күніне 100 рет жүреді деп есептесек, бұл жылдық қызмет мерзіміне тең.

Бұл нәтижелер динамикалық талдау нәтижесінде есептелген тік және бүйірлік жүктемелер жүктемеге KRL-2012 жобалық талаптарынан аз болатын жүктеме жағдайында да болжанады. Атап айтқанда, ойықтары бар рельстің көлденең қимасының модулі кәдімгі рельске қарағанда үлкенірек, бұл тік жүктемеден туындаған иілу кернеуі шамалы екенін көрсетеді.

Дөңгелектер мен теміржолдар арасындағы байланыс қысымын есептеу нәтижесінде максималды байланыс қысымы 534 МПа деңгейінде болады және мұны «Байланыс қысымы және қызмет ету мерзімі» анықтамалығындағы мәліметтермен салыстыруға болады, онда байланыс қысымының циклдарға тәуелділік қисығы 1 орташа баллдан төмен байланыс қысымы деңгейінде 104 миллион циклды көрсетеді. Анықтамалықтағы мәліметтерге сүйене отырып, 534 МПа байланыс қысымы деңгейінде тозу салдарынан шаршаудың бұзылуы күтімесе де, байланыс аймағындағы шаршаудың бұзылуы беттің күйіне және сыртқы жағдайларға байланысты, сондықтан бетті майлау және техникалық қызмет көрсету үнемі жүргізілуі керек.

### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Romanov A.V., Shekhtman E.I. To the question of the interaction of the path and rolling stock at high-speed train traffic // Bulletin the results of scientific research. – 2013. – No. 3 (8). – S. 48-53.
2. Ustemirova R.S., Kainarbekov A.K., Kaspakbaev K.S., Asanov A.A. Agitators of vibrations and issues of disturbance of rolling stock state of the way // Industrial transport of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – No. 2 (67). – S. 66-71.
3. Rabsztyn M. Shinkansen – pół wieku dużych prędkości w Japonii. // Technika Transportu Szynowego. – 2015. – № 4. – S. 24-29.
4. China's Continent-Spanning Trains Are Running Half-Empty. <http://foreignpolicy.com> (өтініш берілген күн: 05.06.2017)
5. Yang D., Pan K., Wang Sh. On service network improvement for shipping lines under the one belt one road initiative of China // Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review. – 2018. – Vol. 117. – P. 82-95.
6. Nazarko J., Kuźmicz K.A. Introduction to the STEEPVL analysis of the New Silk Road Initiative // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 182. – P. 497-503.
7. The modern silk road: one way or another, On wider Europe, The German Marshall Fund of the United States. <http://www.gmfus.org> (өтініш берілген күн: 30.11.2018)
8. Graff Marek Pociągi dużej prędkości Talgo 250 dla kolei rosyjskich RZD // Technika Transportu Szynowego. – 2015. – № 6. – S. 34-37.
9. Fortea Pedro 25 years of high-speed rail in Spain: a beacon of international reference // European Railway Review. – 2017. – № 3. – S. 14-15.

---

10. Harassek Andrzej Rozwój kolei dużych prędkości w Europie // Technika Transportu Szynowego. – 2015. – № 4. – S. 34-42.

11. Agamez-Arias Intermodal transport in freight distribution: a literature review // Transport Reviews. – 2017. – No. 37 (6). – R. 782-807.

## Исследование систем модификации железнодорожных калибров

К.Г. Балабекова, А.Б. Забиева, А.Б. Оразалина

*Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

**Аннотация.** В статье исследуются системы модификации железнодорожных калибров. В настоящее время при переходе из одной страны в другую стандартные рельсы трансформируются в железнодорожные реле от 1435 мм до 1520 мм. В результате расчета контактного давления между колесами и железными дорогами максимальное контактное давление было на уровне 534 МПа, и это можно сравнить с данными в справочнике «контактное давление и срок службы», где кривая зависимости контактного давления от циклов показывает 104 миллиона циклов на уровне контактного давления ниже среднего балла 1. Исходя из данных в справочнике, хотя нарушения усталости из-за износа не ожидаются при уровне контактного давления 534 МПа, нарушения усталости в зоне контакта зависят от состояния поверхности и внешних условий, поэтому было решено, что смазка и техническое обслуживание поверхности должны проводиться регулярно.

**Ключевые слова:** железная дорога, лебедка, выходной диск, рельс, фон Мизеса, рифленый рельс, калибр, жесткость, нагрузка, разблокировка.

## Research of railway gauge modification systems

K. Balabekova, A. Zabiyeva, A. Orazalina

*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**Abstract.** The article examines the modification systems of railway gauges. Currently, when moving from one country to another, standard rails are transformed into railway relays from 1435 mm to 1520 mm. As a result of calculating the contact pressure between wheels and railways, the maximum contact pressure was at the level of 534 MPa, and this can be compared with the data in the reference book “contact pressure and service life”, where the curve of the dependence of contact pressure on cycles shows 104 million cycles at the contact pressure level below the average score of 1. Based on the data in the handbook, although fatigue disorders due to wear are not expected at a contact pressure level of 534 MPa, fatigue disorders in the contact zone depend on the condition of the surface and external conditions, therefore it was decided that lubrication and maintenance of the surface should be carried out regularly.

**Keywords:** railway, winch, output disc, rail, Mises background, corrugated rail, gauge, stiffness, load, unlocking.

## References

1. Romanov A.V., Shekhtman E.I. To the question of the interaction of the path and rolling stock at high-speed train traffic // Bulletin the results of scientific research. – 2013. – No. 3 (8). – S. 48-53.

2. Ustemirova R.S., Kainarbekov A.K., Kaspakbaev K.S., Asanov A.A. Agitators of vibrations and issues of disturbance of rolling stock state of the way // Industrial transport of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – No. 2 (67). – S. 66-71.

3. Rabsztyn M. Shinkansen – pół wieku dużych prędkości w Japonii. // Technika Transportu Szynowego. – 2015. – № 4. – S. 24-29.

4. China’s Continent-Spanning Trains Are Running Half-Empty. <http://foreignpolicy.com> (Accessed: 05.06.2017)

- 
5. Yang D., Pan K., Wang Sh. On service network improvement for shipping lines under the one belt one road initiative of China // *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*. – 2018. – Vol. 117. – P. 82-95.
  6. Nazarko J., Kuźmicz K.A. Introduction to the STEEPVL analysis of the New Silk Road Initiative // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 182. – P. 497-503.
  7. The modern silk road: one way or another, On wider Europe, The German Marshall Fund of the United States. <http://www.gmfus.org> (Accessed: 30.11.2018)
  8. Graff Marek Pociągi dużej prędkości Talgo 250 dla kolei rosyjskich RZD // *Technika Transportu Szynowego*. – 2015. – № 6. – S. 34-37.
  9. Fortea Pedro 25 years of high-speed rail in Spain: a beacon of international reference // *European Railway Review*. – 2017. – № 3. – S. 14-15.
  10. Harassek Andrzej Rozwój kolei dużych prędkości w Europie // *Technika Transportu Szynowego*. – 2015. – № 4. – S. 34-42.
  11. Agamez-Arias Intermodal transport in freight distribution: a literature review // *Transport Reviews*. – 2017. – No. 37 (6). – R. 782-807.

#### **Авторлар туралы мәлімет:**

**К.Г. Балабекова** – PhD, қауымдастырылған профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**А.Б. Забиева** – т.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**А.Б. Оразалина** – аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**К.Г. Балабекова** – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**А.Б. Забиева** – к.т.н., доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**А.Б. Оразалина** – старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

**K. Balabekova** – PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

**A. Zabieva** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

**A. Orazalina** – senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.