

Б.Б.Тогизбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев

*Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан  
(E-mail: akarazhanov@mail.ru, alipbaev.1977@mail.ru, aliya.zhakupovazabieva@mail.ru)*

## Суық жағдайда жанасу-шаршау ақаулары пайда болған кезде рельсті бұзу механикасын зерттеу

**Аңдатпа.** Жолда жұмыс істеген кезде рельстер әртүрлі жүктемелердің (күш, температура, атмосфералық) бірлескен әсеріне ұшырайды, олардың әсерінен рельсті металда күрделі және әдетте өзара байланысты процестер жүреді: металдың пластикалық деформациясы, бастың сырғанау бетіндегі әртүрлі бұзушылықтардың дамуы. Суық жағдайда беткі зақымданулардың пайда болуы және олардың дамуы, контактілі шаршаудың ішкі ақауларының дамуы. Мұның бәрі рельстердің қызметтік қасиеттерінде айтарлықтай өзгерістерге әкеледі. Мақалада әртүрлі теріс температурада (-20°-дан -60°-қа дейін) жылжымалы құрамның қозғалысы кезінде шексіз пластинадағы жарықшақтың жоғарғы бөлігінде серпінді кернеулердің пайда болу себептері қарастырылады. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде рельстердің басындағы ақауларды қалпына келтіру тәсілдері анықталды, бұл ақаулары бар рельстерді пайдалануды жалғастыру туралы мәселені көтеруге мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** төмен температура, рельстер, ақау, бойлық жарықшақ, ойық, шаршау байланыс ақауы.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-98-104](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-141-4-98-104)

### Кіріспе

Рельстер жолдың жоғарғы құрылымының ең жауапты және қымбат элементі болып табылады. Бірінші класты желілердің ағынсыз және буындық жолдарындағы Р65 типті рельстердің нормативтік қызмет мерзімі тиісінше 700-600 млн. т брутто құрайды [5]. Рельстердің жанасу-шаршау беріктігі рельстердің сырғанау бетінде жанасу-шаршау зақымданулардың пайда болуымен және дамуымен байланысты [6].

Суық жағдайда жолда пайдалану кезінде рельстер әртүрлі жүктемелердің (күштік, температуралық, атмосфералық) бірлескен әсеріне ұшырайтыны белгілі, олардың әсерінен рельстік металда күрделі және, әдетте, өзара байланысты процестер жүреді: металдың пластикалық деформациясы, бастың сырғанау бетінде әр түрлі тегіс еместіктің дамуы, беттік зақымданудың пайда болуы және олардың дамуы, түйіспелі-шаршау тектес ішкі ақаулардың дамуы [1]. Осының барлығы рельстердің қызметтік қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруіне әкеледі. Мысалы, рельстермен 100 млн. тоннаға жуық брутто өткеннен кейін бастың жылжымалы құрамның доңғалақтарымен түйісу аймағында бастың жұмыс істейтін жекелеген жерлерінде «қара дақтар» пайда бола бастайды, ойықтар пайда болады, рельстердің ұшында металл шайылып, боялады, жеке толқынды тегіс емес пайда болады. Бас металдың беткі қабатындағы жапсырма тоннаждың жұмыс істеуіне қарай өседі. Жолда болып жатқан процестердің нәтижесінде одан әрі пайдалану кезінде ақаулар бойынша рельстердің жеке шығуы ұлғаяды, ол нормативтік тоннажды өткізу уақытына қарай 6 шт./км жолға жетуі мүмкін [1].

Көптеген эксперименттік жұмыстар және сыртқы үйкеліс туралы теориялық түсініктер үйкеліс денелердің үстіңгі көлемінде болатын серпінді-пластикалық деформацияны қарастырумен байланысты [2]. Деформация сыртқы үйкелістің өтуіне себепші болатын негізгі

процесс болып табылады. Деформация нақты байланыс алаңының өзгеруіне, физикалық бедердің дамуына әкеледі, үйкеліс күштерінің қалыптасуына шешуші әсер ететін бірқатар туынды құбылыстарды - тозу мен зақымдануды туғызады.

### Зерттеу әдістемесі

Жүктеу кезінде үлгінің орташаланған қасиеттерін ескеретін беріктік пен пластикалықтың жалпы қабылданған сипаттамаларынан айырмашылығы, бұзылу механикасының критерийлері материалдың жергілікті қасиеттерін (жарықтар фронты бойынша орташаланған) ескереді және жарықтың шыңындағы кернеу өрісін талдау негізінде сыңар қирауға көшу шарттарын белгілейді. Жалпы жағдайда шексіз пластинадағы жарықтың шыңы кезіндегі серпімді кернеу өрістерін келесі формула арқылы табуға болады

$$\sigma_{ij} = K_i(2\pi r)^{-0.5} f_{ij}(\vartheta) \quad (1)$$

қайда  $K_i$  - кернеу қарқындылығының коэффициенті және оның шамасы жарықтың шыңы кезіндегі кернеу өрісін толық мөлшерде анықтайды,  $K_i = \sigma(\pi b)^{0.5}$ . Қисық-тік өлшемнің жарығына жеткен сәтте үзу жолымен бөлшектерге қирау кезінде  $K_i$  мәні ( $K$ ) немесе тұтқыр қирау кезінде жазық деформация жағдайындағы кернеу қарқындылығының сындарлы коэффициенті болып табылады.

Бұл ретте жарықтың шыңынан  $g$  қашықтықта орналасқан және оның жазықтығы  $0$  бұрыш құрайтын  $dx dy$  пластинасының элементі қолданыста болады. Бағытында әрекет ететін және тиісті кернеу  $t$  х. пластинаның (бөлшектердің немесе үлгілердің, мысалы, рельс сияқты) жеткілікті үлкен қалыңдығы кезінде бұзылу жазық деформация жағдайында болады, пластикалық деформацияның ағу процесі барынша басылады және созылатын кернеулердің әсерінен (үзілу) болатын сыңар бұзылу нәтижесінде пластинаның ұзындығына перпендикуляр жалпақ сынық пайда болады.

Кернеу қарқындылығы коэффициенті үшін (1) өрнегі шексіз пластина үшін әділ. Нақты жағдайлар мен бөлшектер үшін  $f$  түзету параметрі енгізіледі. параметрлер қатарын (ұзындығы, ені және т.б.) ескеретін.

Кернеу қарқындылығының коэффициенті  $K_i$ , егер пластикалық аймақ жарықтың шыңының маңында аз болса, өзінің мәнін сақтайды.

Циклдік жүктеме нөлден кейбір шамаға дейін өзгерген кезде кернеу қарқындылығының коэффициенті мынадай аралықта өзгереді:

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (2)$$

Циклдік жүктеу кезінде бір циклде жарықтың таралуы (жарықтың жылжуының сок-ростығы) кернеу қарқындылығының өзгеру амплитудасына байланысты шамасы бар, салыстырмалы түрде дәл Парис теңдеуімен анықталады [1]:

$$\frac{db}{dN} = C(\Delta K)^u \quad (3)$$

$$\frac{db}{dN} = v \quad (4)$$

мұндағы  $v$  - шаршаған жарықтың өсу жылдамдығы;

$db$  - жарықтың ұзындығының өсуі;

$dN$  - жүктеме циклдерінің бір немесе біршама белгілі саны;  
 $C, n$  - материал мен жүйенің тұрақты болып есептелетін параметрлер жүктеме.

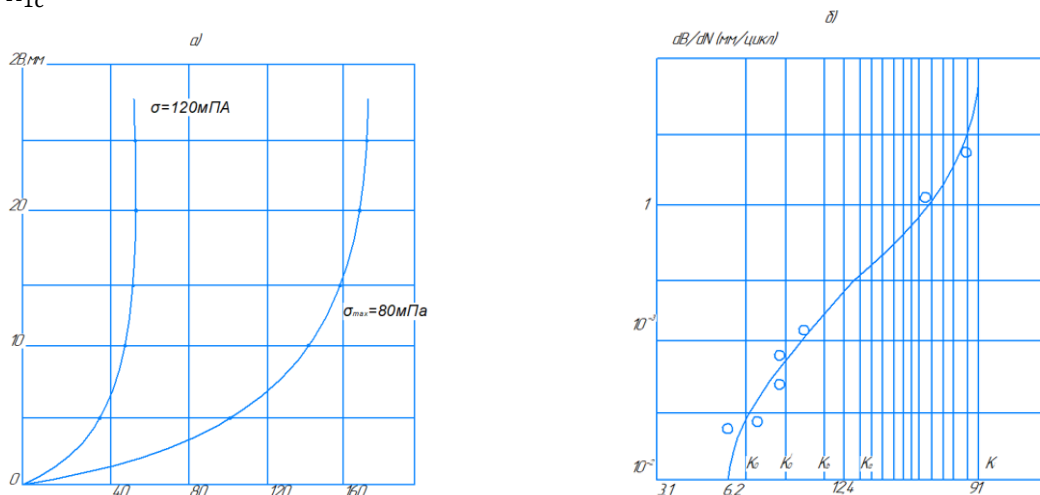
$$\Delta K = (\Delta\sigma)\sqrt{bf} \quad (5)$$

мұнда  $\Delta\sigma$  - кернеулердің өзгеру амплитудасы.

Жарықтың таралу жылдамдығы оның өсуіне қарай қисықтардың көлбеуінен анықталады.  $\Delta K$  шамасын арақатынастан тиісті  $b$  мәнді қою кезінде анықтауға болады. 1б-суретте,  $\Delta K$ нің  $db/dN$  тәуелділігі логарифмдік координаталарда бейнеленген, үлкен амплитудалар кезінде пайда болған кернеу өзгерістері бірінші эксперименттің басында  $\Delta K$  және үлкен мәндеріне сәйкес келетіні көрінеді; екінші эксперименттің нәтижелері ( $\Delta K$  және  $db/dN$  кіші шамалары) бірінші жағдайдағыдай үлкен мәндерге (1а және 1б сурет қисығындағы нүктелер) жету арқылы да осы қисыққа түседі.  $\Delta K$  -ның бірдей білуі кезінде бірінші сынақта да (кіші жарықшақ және үлкен кернеу), екінші сынақта да (ұзын жарықшақ және шағын кернеу) жарықтың таралу жылдамдығында ешқандай айырмашылық жоқ екені анық.

Осылайша, Париж (3) теңдеуі жарықтың өсу қарқынының көптеген сынақтарының нәтижелерін жалпылауға және оларды әртүрлі төмен температураларда логарифмдік координаттарда бір қисық түрінде көрсетуге мүмкіндік береді:  $\Delta K$  кернеудің қарқындылық коэффициенті, және жарықтың таралу жылдамдығы. Әртүрлі материалдар үшін  $C$  және  $n$  коэффициенттерінің мәндері кең шектерде ауытқиды.

Парис теңдеуінің графигі [5]  $db/dN = fF S$  формалы қисық сызық н ысанында болады және әр түрлі көлбеу учаскелерден тұрады (1б сурет): шаршаған жарықтың таралуының басталуы ( $K_0$ ), оның өсу жылдамдығының біршама баяулауы ( $K_a$ ),  $K_a - K_b$  учаскесінде жарықтың таралуының жылдамдығы, түзу-түзу тәуелдігіне жақын  $K_b$  -ден кейін; - шаршаған жарықтың өсу жылдамдығының одан әрі жылдамдығы, ал ол сыни өлшемге жеткен кезде ( $db/dN$  қатынасы шексіздікке айналады) бөлшектің бұзылуы орын алады, осы сәтте кернеудің интенсивтілігі мәніне жетеді  $K_{1c}$

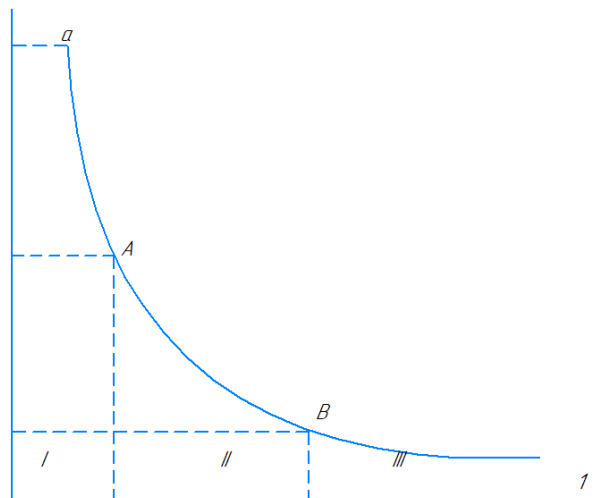


а) жарықтардың өсу қисықтары; б) өміршеңдік диаграммасы  
 Сурет 1. Суық жағдайда (-20°тан -60°)шаршау жарықтарының таралуы

Жоғарыда баяндалған заңдылық бөлшектің қалдық беріктігі позициясынан түсіндірілуі мүмкін (2-сурет).

Жарықшақ пайда болған және өскен кезде оның конструкцияның бастапқы (есептік) беріктігін көбірек төмендететін иірімжіптер: белгілі бір кезеңнен кейін беріктігі соншалықты азаяды, конструкция (бөлшек) әсер еткен кезде бұзылуы мүмкін эпизодтық жоғары жүктемелерге шыдай алмайды (2-суреттегі А нүктесі). Мұндай кездейсоқ жоғары жүктемелер болмаған кезде

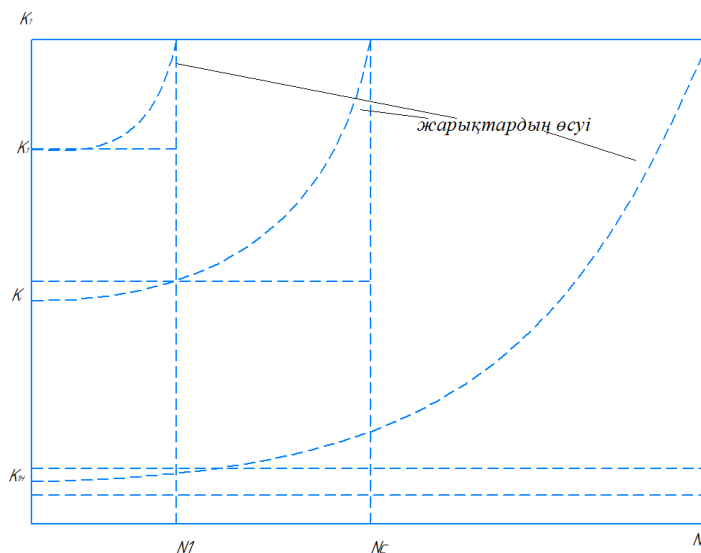
жарықшақ өсуін жалғастырады, конструкцияның қалдық беріктігінің бөлшек жұмыс әкепуляциялық жүктемелер кезінде бұзылатын деңгейге дейін одан әрі төмендеуін тудырады (В нүктесі).



I-қалыпты жұмыс жүктемесі; II - бұзылуы ықтимал, III - қирау; а- қаттылық есептеу, А- күтілетін ең жоғары жүктеме; В - пайдалану жүктемелері.

Сурет 2. Қалдық беріктіктің өзгеру схемасы (Р)жарықтың бұзылуы кезіндегі бөлшектер.

Жарықтың өсу жылдамдығы  $K_j$  кернеудің қарқындылығы коэффициентінің шамасымен анықталады: К мәніне дейін жүктелген бөлшек бірден бұзылады: әртүрлі кернеулерге дейін жүктелген бірдей бөлшектер (әр түрлі бастапқы к) әртүрлі уақыттан кейін бұзылады (Р қисығы 2-сурет), К шекті мәнінен кіші К мәніне дейінгі қыздыру бөлшектері бұзылмайды өте ұзақ уақыт бойы. Кернеудің интен-сивтілік коэффициентінің шекті мәні және жарықтың өсу жылдамдығы материалға, қоршаған ортаның жағдайына байланысты (мысалы, коррозиялық жарықтардың дамуы)



Сурет 3. Бөлшек сынғанға дейінгі циклар санының  $K_i$  бастапқы мәніне тәуелділігі (N)

### Қорытынды

Салыстырмалы пайдалану жағдайларында, бірақ климаты әртүрлі болған жағдайда рельстік өрмелердің үлестік істен шығуы (дана/млн т брутто) рельстердегі едәуір үлкен (~1,5 есе)

бойы созылатын күштердің неғұрлым ұзақ кезеңінде (~1,6 есе) 30-40% жоғары болуы мүмкін. Рельстік плеттің екі нұсқасы қарастырылды: -20 және -60 ° С температурада және 800 және 1600 кН бойлық күштерде. Есептеу көрсеткендей, жолды жүктеудің орташа жағдайларына тән 160-180 МПа рельстердегі өзге де тең жағдайлар мен кернеу кезінде 11 ақаудың сыни ауданы -20 ° С температурада 6-9% -ға және -60 ° С кезінде 10-13% -ға төмендейді.

Осылайша, біріншіден, кейбір дәрежеде әртүрлі факторлардың жарықтардың сыни алаңына әсерін ескеруге, яғни бүлінген рельстердің жұмысын бақылауға болады. Екіншіден, конструкциялық беріктік параметрлері бойынша, ең алдымен жарыққа төзімділігі бойынша қазіргі заманғы рельстердің белгілі бір қоры бар, бұл ақаулары бар рельстерді пайдалануды жалғастыру туралы мәселені көтеруге мүмкіндік береді.

Түйіспес жолдың ұзындығы артып келеді. Алайда, бұрын атап өтілгендей, рельстік өрмелерде температураның өзгеруінен туындайтын едәуір бойлық күш-жігер жұмыс істейді. Бекіту температурасымен салыстырғанда оның жоғарылауы кезінде жолдың шығуына әкелуі мүмкін бойлық қысу күштері, ал температура төмендеген кезде рельстердің сынуын тудыруы мүмкін созу күштері пайда болады.

Сондықтан бойлық шаршау жарықтары бар рельстің көлденең қимасын күшейту маңызды. Бұл шара бастағы иілгіш созу кернеулерін 30% -ға дейін азайтуға, жарықтардың дамуын бәсеңдетуге, олардың сыни өлшемін рельс басының 60-80% -ға дейін ұлғайтуға және статикалық жүктеме кезінде бұзатын жүктемені 1,5-2,0 есеге арттыруға мүмкіндік береді. Жапсырмаға алынған 11 ақауы бар рельстік өрмелердің жұмысы кезіндегі қозғалыс қауіпсіздігі, сондай-ақ рельстер толассыз сынған жағдайда өрмек ұштарының көлденең ығысуын болдырмау арқылы қамтамасыз етіледі. Рельстік өрмелерді қалпына келтіру үшін «терезе» уақыты айтарлықтай төмендейді.

### Әдебиетер тізімі

1. Омарова М.Б. Исследование влияния размеров выкрашивания головки рельса на безопасность движения поездов. Диссертация/ Алматы., КУПС, 2006.
2. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь.-М.:Транспорт.-1987.-479с.
3. Grassie S.L. Проблемы изломы рельса //Ж.д Мира. -2002.-№11. С-68-71
4. Williams R.A. Comparison of classical and optimal control techniques for designing railway vehicle active suspension. //Control'85: International confederation.-Cambridge. 1957 -9-11 July. -Vol.2; London-New-York. 1995.-P521-526
5. Омарова М.Б. Влияние уровня воздействия на путь максимальных осевых нагрузок на геометрические размеры дефекта 11 и скорость роста ВПТ//новости науки Казахстана.-2006.-№3.-С.131-137
6. Жакупова М.Б. Технология газопорошковой наплавки в пути рельсов имеющих выщербины на боковой выкружке рабочей грани//Материалы II Международной конференции «Транспорт Евразии: взгляд XXI век». Алматы: КазАТК, 2002.-Т.7-С. 95-99

**Б.Б.Тогизбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев**

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

### **Исследование механики разрушения рельса при возникновении контакто-усталостных дефектов в холодных условиях**

**Аннотация.** При эксплуатации в пути рельсы подвергаются совместному воздействию различных нагрузок (силовых, температурных, атмосферных), под влиянием которых в рельсовом металле происходят сложные и, как правило, взаимосвязанные процессы: пластическая деформация металла, развитие различного вида неровностей на поверхности катания головки.

Возникновение поверхностных повреждений и их развитие, развитие внутренних дефектов контактно-усталостного происхождения — все это приводит к существенным изменениям служебных свойств рельсов. В статье рассмотрены причины возникновения упругих напряжений при вершине трещины в бесконечной пластине во время движения подвижного состава. В результате проведенных исследований были выявлены способы восстановления дефектов в головках рельсов, что позволило поднять вопрос о продолжении эксплуатации рельсов с дефектами.

**Ключевые слова:** рельсы, дефект, продольная трещина, выщербина, усталостный контактный дефект.

**B. Togizbayeva, A. Zabiyeva, A. Karazhanov, Zh. Alipbayev**  
*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

### **Investigation of the mechanics of rail failure in the event of contact fatigue defects in cold conditions**

**Abstract.** During operation in transit, rails are exposed to the combined effects of various loads (power, temperature, atmospheric), under the influence of which complex and usually interrelated processes occur in the rail metal: plastic deformation of metal, the development of various types of irregularities on the surface of the rolling head. The occurrence of surface injuries and their development, the development of internal defects of contact fatigue origin. All this leads to significant changes in the service properties of the rails. The article discusses the causes of elastic stresses at the crack tip in an infinite plate during the movement of rolling stock. As a result of the conducted research, there were identified methods of repairing defects in the rail heads, which allowed raising the issue of continuing operation of rails with defects.

**Key words:** rails, defect, longitudinal crack, gouge, fatigue contact defect.

### **References**

1. Omarova M.B. Investigation of the influence of the size of the rail head coloring on the safety of train traffic. Dissertation/ Almaty., COURSE, 2006.
2. Shakhunyants G.M. Railway track.-M.:Transport.-1987.-479s.
3. Grassie S.L. Problems of rail fractures //Railway of the world.-2002.-No.11. S-68-71
4. Omarova M.B. Influence of the level of impact on the path of maximum axial loads on the geometric dimensions of defect 11 and the growth rate of VAC//News of science of Kazakhstan.-2006.-No.3.-pp.131-137
5. Williams R.A. Comparison of classical and optimal control techniques for designing railway vehicle active suspension. //Control'85: International conferation.-Cambridge. 1957 -9-11 July. -Vol.2; London-New-York. 1995.-P521-526
6. Zhakupova M.B. Technology of gas-powder surfacing in the way of rails having dents on the side of the working face//Materials of the II International Conference "Transport of Eurasia: a view of the XXI century". Almaty: KazATK, 2002.-Vol.7-pp. 95-99

### **Авторлар туралы мәлімет:**

**Тогизбаева Б.Б.** – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

**Забиева А.Б.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

**Каражанов А.А.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия

ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

**Алимбаев Ж.Р.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

**B. Togizbayeva** – doctor of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**A. Zabiava** – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**A. Karazhanov** – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

**Zh. Alipbayev** – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.