

Б.Б. Тогизбаева, А.Б. Забиева\*, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев,  
Қ.Г. Балабекова

Л.Н. Гумилев атындағы Евразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,  
(E-mail: baglant099@gmail.com, \*aliya.zhakupovazabieva@mail.ru,  
akarazhanov@mail.ru, alipbaev.1977@mail.ru, 06\_03\_92@mail.ru)

## Ішкі бойлық жарықшақтың жоғарғы жағындағы рельс конструкцияларының кернеулі күйін зерттеу

**Аңдатпа.** Шұңқырлар аймағындағы кернеу жағдайын зерттеу үшін ішкі бойлық жарықшақтың (ІБЖ) ұштарында пайда болатын кернеулердің үлгісін қарастырмай және талдамай ақпарат толық болмайды, себебі сынақтар кезінде кейбір рельс үлгілерінің бұзылуы дәл олардан басталды. ІБЖ-қа жүктеменің әр түрлі түрлерінің әсерін бағалау шұңқырлар мен шұңқырлардың пайда болу механизмін тереңірек түсінуге және осы бөлімде 11 және 21 ақауларының неге кездеспейтінін түсіндіруге көмектеседі.

Жарықтары бар конструкциялардың кернеу күйін бағалаудың маңызды критерийлерінің бірі кернеу қарқындылығының коэффициенті (КҚК) болып табылады. Ол жарықшақтың жоғарғы жағындағы кернеу күйін анықтап қана қоймайды, сонымен қатар өсу қарқынды мен жарықшақты болжау үшін де қолданыла алады.

Сондықтан осы зерттеудің мақсаты ішкі бойлық кернеудің алдыңғы нүктелеріндегі кернеулердің қарқындылық коэффициенттерін анықтау болып табылады.

**Түйін сөздер:** ішкі бойлық жарықшақ, кернеу қарқындылығының коэффициенті; рельстер, ақау.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-143-2-129-135](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-143-2-129-135)

### Кіріспе

Жүктеменің жалпы жағдайында жарықшақтың жоғарғы жағындағы кернеу күйін үш қарапайым жағдайдың суперпозициясы ретінде елестетуге болады-гормоналды бөліну, бойлық және көлденең ауысу. Үш жағдайдың әрқайсысында шынға жақын кернеу өрісі формулалар бойынша анықталады:

$$\begin{aligned}\delta_{ij} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \\ \delta_{ij} &= \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij} \quad (1) \\ \delta_{ij} &= \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}\end{aligned}$$

мұндағы  $K_I, K_{II}, K_{III}$  тиісті жүктеме жағдайына арналған кернеу қарқындылығының коэффициенті(КҚК);

$r, \theta$  — жарықшақтың жоғарғы жағында басталатын нүктенің полярлық координаттары.

КҚК эксперименттік мәндерін поляризациялық-оптикалық әдістер арқылы анықтауға болады. Кернеулер мен олардың комбинацияларының қарқындылық коэффициенттерін анықтауда ең үлкен дәлдік құрама модельдер әдісіне ие, бұл жарықшақтың А нүктесіндегі кернеу күйін зерттеуге мүмкіндік берді, жүктеме түрін анықтау үшін келесі эксперименттер қажет болды:

а) созылу және қысу кернеулері өрісіндегі бойлық жарықшақ КІ мүмкін мәндерін бағалау үшін;

б)  $K_{11}$  мәндері үшін жарықшақты рельстің көлденең қимасындағы ауысу кернеулерін зерттеу және жарықшақты тереңдетудің ең қауіпті орнын және тігінен көлбеу бұрышын анықтау;

в) алдыңғы эксперименттердің нәтижелерін ескере отырып, алдыңғы А нүктесінде КҚК бағалау.

### Зерттеу әдістемесі

Қысу және созылу кернеулерінің әсерінен бойлық жарықшақтың жоғарғы жағындағы кернеу күйін бағалау үшін бойлық жарықшақты рельстің жалпақ моделінде және 11 ақауы бар нақты рельсте эксперименттер жүргізілді.

Мұндай модель-биіктігі 180 мм және ұзындығы 420 мм, ұзындығы 50 мм және ені 0,115 мм болатын, жарықшақты имитациялайтын, СОЗ-2 оптикалық белсенді плексигластан жасалған. Модель үш нүктелі иілуге жүктелді, осылайша жарықшақ созылған немесе қысылған кернеулер аймағында болды. Фотоэластикалық суреттерді талдау көрсеткендей, екі жағдайда да, шыңға жақын кернеу өрісінің бұзылуы, тіпті жарықшақтың жоғарғы жағына жақын жүктеме қолданылған кезде де маңызды емес. Осыны да келтірілген формулаларға сәйкес жүргізілген есептеулер қалыпты үзіліс жарықтары үшін растайды:

$$\delta_{ij} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij} \sigma_x = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\vartheta}{2} (1 - \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{3}{2} \vartheta)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\vartheta}{2} (1 + \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{3}{2} \vartheta)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{3}{2} \vartheta \quad (2)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y), \quad \tau_{xz} = \tau_{zy} = 0$$

$$u = \frac{K_1}{\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\vartheta}{2} \left( \frac{x-1}{2} + \sin^2 \frac{\vartheta}{2} \right)$$

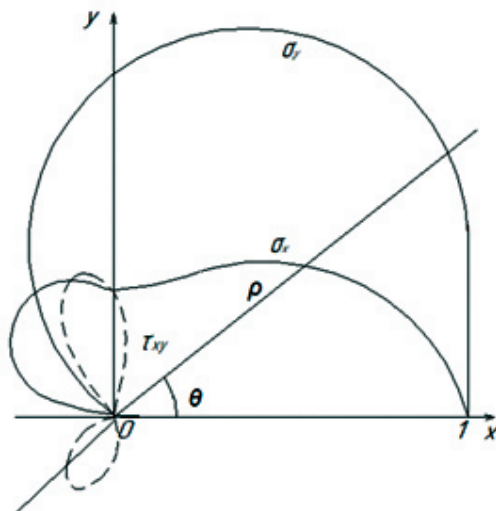
$$u = \frac{K_1}{\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\vartheta}{2} \left( \frac{x+1}{2} - \cos^2 \frac{\vartheta}{2} \right)$$

$$W=0$$

1-суретте полярлық координаттарда берілген формулаларға сәйкес  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  кернеулерінің таралуы көрсетілген. Радиус-Вектор бойынша кейінге қалдырылған барлық р шамалар  $K_i, / \sqrt{2\pi r}, r = \text{const}$  деп жіктеледі.

Алайда, жарықшақтың жоғарғы жағы контактілі иірілген жіптердің әсер ету аймағына түскенде, жарықшақтардың жоғарғы аймағында қалыпты үзілістің жарықтарына тән интерференция үлгісі пайда болады. Кернеу тензорының құрамдас бөлігін бөлек анықтау арқылы жүргізілген кернеу өрісін талдау бұл жағдайда жарықшақтың жоғарғы жағында

қысу басым болатынын көрсетті, яғни доңғалақты жарықшақтың үстінен айналдыру кезінде жарықшақтың ашылуы орын алады. Шыңдағы кернеулердің концентрациясы жарықшақтың соңғы ені бар кесуге ұқсайтындығынан туындайды, жағалар қысылған кезде бір-біріне қысым жасамайды. К мәні теріс



Сурет 1. Қалыпты үзіліс түрі бойынша жарықшақ шыңының шағын маңындағы кернеулердің таралуы

Дәл осындай нәтижелер нақты рельстегі жарықшақ жағалауларының жылжуын зерттеу кезінде алынған. Мұнда ақау табылғаннан кейін жолдан шығарылған нақты рельс Р65 сыналды. Жарықшақ жағалауларының орын ауыстыру голографиялық интерференция әдісімен зерттелді. Ол үшін анықталған жарықшақты Р65 рельсі CDM-200 сынақ машинасында үш нүктелі иілу схемасы бойынша симметрия жазықтығында жүктелді. Голографиялық интерферометрдің орын ауыстыруын анықтауға арналған голограммаларды жазу түсіру объектісінде Тіркеуші орта (фотопластинка) бекітілетін қарсы сәулелерде жүргізілді, яғни. ПЭ-2 фотопластинкасы рельстің бүйір бетіне к-18 катализаторымен қатайтылған оптикалық мөлдір scпn каучүкінің көмегімен бекітілді.

Фотопластинкаға жүктелгенге дейін және кейін жарылған рельстің суреттері жазылды (екі экспозиция). Голограммаларды жазу кезінде де, оны монохроматикалық когерентті сәуленің көзі ретінде қалпына келтіру кезінде де коллиматоры бар ЛН-36 лазері қолданылды. Алынған ақпараттық үлгіге сүйене отырып, интерферограмманы қалпына келтіру кезінде зерттелетін объектінің нүктелерінің қозғалысын бағалауға болады.

Жарықшақтағы қозғалыстардың секіруі олардың Жарықшақтан өтуі кезінде кедергі жолақтарының үзілуімен көрінеді. Жарылған рельс үшін алынған интерферограммаларда кедергі жолақтары жарықшақты үзіліссіз кесіп өтеді, бұл бір-біріне қатысты жарықшақтың жағалық орын ауыстыруың жоқтығын көрсетеді. Осылайша, қорытындылай келе иілу кернеулері қалыпты үзіліс түріне сәйкес жарықшақты жүктемейді, керісінше жарықшақтың жабылуына әкеледі.

Орын ауыстыру контактілі кернеулердің әсерін анықтау үшін Эд-16 шайырының негізіндегі эпоксидті қосылыстың қалыңдығы 2 мм пластинадан жасалған модель Р65 рельсінің көлденең қимасы түрінде жасалды.

Қалыңдығының ені 0,15 мм ойық түрінде еліктелді, өйткені рельстің көлденең қимасындағы ақаудың орны кең шектерде өзгеруі мүмкін (2-9 мм тереңдігі, 8°-45° көлденеңінен көлбеу), 6 және 9 мм жарықшақты тереңдететін және 15°, 30°, 45° көлбеу бұрыштары бар 6 Модель зерттелді. Модельдер ИМАШ-КБ-2 қондырғысында жылжымалы құрам дөңгелегінің профиліне сәйкес келетін профильмен [1] мөртабанмен

жүктелді. Тұрақтылықтың жоғалуын болдырмау үшін модель жарықшақты азайту үшін ЦИАТИМ-205 майымен алдын-ала майланған 2 әйнектің арасына орналастырылды. Жарықшақ аймағындағы жолақтардың жалпы суреті, сондай-ақ онштампық позициядағы жарықтар шыңы аймағындағы жолақтардың үлкен суреттері суретке түсті. Штампық үш позициясында реборд жүктемелері имитацияланған. Жарықтардың ең қауіпті жағдайын анықтау үшін шыңға жақын орналасқан негізгі кернеулердің (жолақтардың реті) айырмашылығын салыстыру жүргізілді. Жарықтың жоғарғы жағындағы жолақтардың ретін анықтау фотоэластикалық суретті визуалды бақылау кезінде жолақтарды санау арқылы жүргізілді.

Барлық модельдердегі өлшеу нәтижелерін талдау іс жүзінде барлық жүктеме позицияларында (бүйірден басқа) ең жоғары концентрация  $30^\circ$  және 6 мм тереңдікте байқалатынын көрсетті. мұндай жарықшақ бұрышы есептелгенге жақын  $-35^\circ$ , ал тереңдету ең жиі кездесетінге сәйкес келеді. Ұқсас нәтиже рельстің басындағы  $\tau_{\max}$  максималды тангенс кернеулерінің бағыттарын талдаудан алынады.  $T_{\max}$  бағыты суреттерден анықталды изоклин жарықсыз рельс моделінде. Сонымен, жарықшақтың геометриялық орталығында  $\tau_{\max}$  бағыты жүктеменің бірінші позициясында  $15^\circ$  - тан селмада  $30^\circ$  - қа дейін өзгереді.

Ең қауіпті ақау үшін ( $\alpha=30^\circ$ , 6 мм тереңдеу) жарықшақ аймағындағы фотоэластикалық жолақтардың суреттері кернеудің қарқындылық коэффициенттерін анықтады. Бағыттар іс жүзінде жарықшақтың бағытымен сәйкес келетіндіктен, мұнда басым бағыт көлденең ауысым болуы керек.

$$\delta_1 - \delta_2 = (2K_{11} / \sqrt{2\pi r}) \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{1}{4} \sin^2 \theta} \quad (3)$$

Осы формула бойынша алынған жолақтардың үлгісін эксперименттік үлгімен салыстыру олардың сапалы түрде сәйкес келетіндігін көрсетті, яғни жарықшақтың жүктелуі тек көлденең арқылы жүреді, демек, үш мүмкін КИН-ден К11 анықтайтын мәнге ие.

Модель рельстің жұмысын бейнелейтіндіктен және шамамен сапалы нәтижелер рельстің бойындағы жарықшақтың өте үлкен ұзындығында ғана жарамды болғандықтан, К11 есептеу жеңілдетілген формула бойынша жүргізілді:

$$K_{II} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\pi r} \delta_0^\alpha m \quad (4)$$

Мұндағы:  $\delta_0^\alpha$  бағыт бойынша модель жолағының бағасы;

$m$  - жолақ тәртібі;

$r$  - жарықшақтың жоғарғы жағынан жолақтың қиылысу нүктесіне және жарықшақтың жалғасу сызығына дейінгі қашықтық.

$K_{11}$  мәні тік жүктеме кезінде байланыс нүктесінің барлық позициялары үшін есептелді. Барлық жағдайларда сурет үш жүктеме деңгейінде тіркелді. Әрбір интерференция жолағы үшін оның жарықшақтың жалғасу сызығымен қиылысу нүктесінің координаты анықталды. Содан кейін берілген жүктеме деңгейі үшін алынған мәндердің орташа мәні анықталды. Әдетте, мәндердің орташа мәннен ауытқуы  $+8\%$  - дан аспады, бұл сонымен қатар жолақтардың есептік және эксперименттік үлгісінің жақсы сәйкестігін көрсетеді.

Бойлық жарықшақ нүктесіндегі кернеу күйін талдау фотоэластикалық жапсырмалары бар құрама модельдер әдістемесі бойынша жүргізілді. Ол үшін плексигластан ұзындығы 150 мм болатын рельстің рельс моделі жасалды. тегіс модельде алынған нәтижелерге сәйкес Жарықшақтың тереңдеуі мен бағыты 6 мм және көлденеңінен  $30^\circ$  бұрыш болды. Жарықшақ ұзындығы 50 мм, ені 10 мм және қалыңдығы 0,15 мм болатын сопақша ойыққа еліктелді, ол рельс басының таңдалған бөлігін модельге жапсырмас бұрын кесілді. Жапсырма-бұл жарықшақ жазықтығына  $45^\circ$  бұрышпен бағытталған эпоксидті қосылыстың қалыңдығы

2 мм пластина. Бұл жапсырма бағыты  $\sigma_{zy}$  және  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  және  $\sigma_{xy}$  кернеулерінің бойлық ауысымымен 0-ге тең болуымен байланысты. Нөлден айырмашылығы тек  $\sigma_{xz}$  және  $\sigma_{yz}$  кернеулері болып табылады, сондықтан егер жапсырма ху жазықтығында орналасса, онда бойлық напряжысу кернеулері ондағы кедергі жолақтарының үлгісіне ешқандай үлес қоспайды.

Жапсырманы  $45^\circ$  бұрышта орналастыру үшін жолақтардың суреті бойлық және көлденең ауысымынан кернеуге ықпал етеді. Анықтаңыз -  $K_{II}$  және  $K_{III}$  мәндерін салыстыру арқылы жүргізілді- бойлық ауысым бойынша көлденең қима үшін теңдеулер шешімдерінің суперпозициясы арқылы теориялық жолақтары бар қалта:

$$\begin{aligned} \tau_{xz} &= \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \\ \tau_{yz} &= \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

Жолақтардың суреті бойынша  $r$  және  $\theta$  координаттары бүтін және жарты ретгі жазықтықтарда жатқан 30 нүкте өлшенді. Осы нүктелерде  $K_{II}$  және  $K_{III}$  әр түрлі мәндеріндегі негізгі кернеулердің айырмашылығы есептелді,  $K_{II}$  және  $K_{III}$  мәндері үшін негізгі кернеулердің теориялық тұрғыдан есептелген айырмашылығының эксперименталды түрде алынған жиынтық орташа квадраттық ауытқуы минималды болатын мәндер қабылданды. Нәтижесінде, байланыс аймағы рельс осінен 12.5 мм-ге ауысқан кезде, нақты рельсті есептеу кезінде мәндер тең болды (оське жүктеме

200 КН)  $61 \text{ Н/мм}^{3/2}$  және  $300 \text{ Н/мм}^{3/2}$ , тиісінше, ал жылжыған арналған 17.5 мм -  $105 \text{ Н/мм}^{3/2}$  және  $520 \text{ Н/мм}^{3/2}$ . Жоғарыда келтірілген нәтижелерден көріп отырғанымыздай, байланыс аймағының мещысуы жоғарылаған сайын  $K_{II}$  және  $K_{III}$  абсолютті мәндері артады, бірақ олардың арасындағы қатынас  $K_{II}/K_{III} \approx 5 \div 6$ -ға тең тұрақты болып қалады. Осылайша, жарықшақтың жоғарғы жағындағы кернеу концентрациясының негізгі үлесі доңғалақ пен рельстің жанасуынан туындаған бойлық кернеулері болып табылады.

### Қорытынды

Тереңдігі 4 мм-ден асатын ескі рельстердің циклдік және копрлік сынақтары жинақталған тоннаж 11 ақаулары бар рельстердің құрылымдық беріктігіне аз әсер ететінін көрсетті. Бұл ақаулы рельстердің көпшілігінде металды бояу басталғаннан кейін пайда болатын айтарлықтай геометриялық өлшемдері мен ІБЖ ұштары бар шербиндер үлкен кернеу концентраторлары болып табылатындығына байланысты. Ақаулары бар рельстердің кернеу күйі тұрғысынан 11 өткір кернеу концентраторлары ІБЖ ұштары және рельстің сырғанау бетінің геометриясының өзгеру орындары (шеттері) болып табылады. Олардан циклдік және көпрлік сынақтар кезінде сынамалар бұзылған кезде барлық дерлік сынықтар басталады.

### Әдебиетер тізімі

1. Омарова М.Б. Исследование влияния размеров выкрашивания головки рельса на безопасность движения поездов. Диссертация/ Алматы., КУПС, 2006.
2. Xiaoyan Lei. High Speed Railway Track Dynamics Models, Algorithms and Applications -2022y. Pages 383-421
3. Grassie S.L. Проблемы изломы рельса //Ж.д Мира. – 2022. – №11. С-68-71
4. Adam Gamble , Cloves Carneiro , Rida Al Barazi Beginning Rails 4-2013y. Pages 13-25
5. Pablo Acuña. Deploying Rails with Docker, Kubernetes and ECS-2016 Pages 17-25

**Б.Б. Тогизбаева, А.Б. Забиева, А.А. Каражанов, Ж.Р. Алипбаев, К.Г. Балабекова**  
*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

### **Исследование напряженного состояния конструкций рельс у вершины внутренней продольной трещины**

**Аннотация.** Исследование напряженного состояния в зоне выколов будет неполным без детального рассмотрения и анализа картины напряжений, возникающих на концах ВПТ, ведь именно от них начиналось разрушение некоторых образцов рельсов при испытаниях. Оценка действия различных видов нагружения на ВПТ поможет более глубоко понять механизм образования выколов и выщербин и объяснить, почему не встречаются в данном сечении дефекты 11 и 21.

Одним из важнейших критериев оценки напряженного состояния конструкций с трещинами является коэффициент интенсивности напряжения (КИН) [2]. Он не только определяет напряженное состояние в вершине трещины, но и может быть использован для прогнозирования скорости роста трещины. Поэтому целью настоящего исследования является определение коэффициентов интенсивности напряжений в точках фронта ВПТ.

**Ключевые слова:** внутренняя продольная трещина, коэффициент интенсивности напряжения, рельсы, дефект.

**B. Togizbayeva, A. Zabayeva, A. Karazhanov, Zh. Alipbayev, K. Balabekova**  
*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.** The study of the stress state in the puncture zone will be incomplete without a detailed consideration and analysis of the picture of stresses arising at the ends of the VAC, because it was from them that the destruction of some rail ends began during testing. An assessment of the effect of various types of loading on the VP will help to understand more deeply the mechanism of the formation of gouges and gouges and explain why defects 11 and 21 do not occur in this section.

One of the most important criteria for assessing the stress state of structures with cracks is the stress intensity coefficient (KIN) [98, 101]. It not only determines the stress state at the crack tip, but can also be used to predict the crack growth rate. Therefore, the purpose of this study is to determine the stress intensity coefficients at the points of the VAC front.

**Keywords:** internal longitudinal crack, stress intensity coefficient; rails, 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. Xiaoyan Lei. High Speed Railway Track Dynamics Models, Algorithms and Applications -2022y. Pages 383-421
3. Grassie S.L. Проблемы изломы рельса //Ж.д Мира. -2022.- №11. С-68-71
4. Adam Gamble , Cloves Carneiro , Rida Al Barazi Beginning Rails 4-2013y. Pages 13-25
5. Pablo Acuña. Deploying Rails with Docker, Kubernetes and ECS-2016

**Авторлар туралы мәлімет:**

**Тогизбаева Б.Б.** – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Забиева А.Б.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Каражанов А.А.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Алипбаев Ж.Р.** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**Балабекова Қ.Г.** – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

**B.Togizbayeva** – Doctor of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

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

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

**Zh. Alipbayev** – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

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