

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**

---

**YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU**

**CƏFƏROV BƏHRAM CƏFƏR oğlu**  
**KƏRİMOV ZƏKA KƏRİM oğlu**  
**HÜSEYNOV AĞALAR MƏHƏMMƏDƏLİ oğlu**

**Calaqsız yolun bərkidicilərinin avtomatlaşdırılmış  
diaqnostikasının aparılmasının tədqiqi**

**mövzusunda**

**MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI**

**İxtisas: 060509 - “Dəmir yolu nəqliyyatı və təsərrüfatı mühəndisliyi”**

**İxtisaslaşma: “Dəmir yolu təsərrüfatı və onun istismarı”**

**Elmi rəhbər:**

**t.e.d., prof. Əhmədov H.M.**

**BAKİ – 2024**

**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**  
**YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU**

***MAGİSTRANTIN ANDI***

«Calaqsız yolun bərkidicilərinin avtomatlaşdırılmış diaqnostikasının aparılmasının tədqiqi» mövzusunda təqdim etdiyimiz magistrlik dissertasiyasını elmi əxlaq normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyim bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazdığımı and içirik və magistrlik dissertasiyasının AzTU Kitabxana İnformasiya Mərkəzində saxlanılması, həmin mərkəz tərəfindən AzTU Rəqəmsal Repozitoriyasına daxil edilərək repozitoriyanın veb saytında yerləşdirilməsinə icazə veririk.

Cəfərov Bəhram Cəfər oğlu

\_\_\_\_\_ (imza)

Kərimov Zəka Kərim oğlu

\_\_\_\_\_ (imza)

Hüseynov Ağalar Məhəmmədli oğlu

\_\_\_\_\_ (imza)

**Tarix**

## MÜNDƏRİCAT

<b>GİRİŞ.....</b>	<b>4</b>
<b>I FƏSİL. UZUNÖLÇÜLÜ CALAQSIZ DƏMİR YOLUNUN ÇƏKİLMƏSİNİN ƏHƏMİYYƏTİ VƏ ONLARDAN İSTİFADƏNİN MÜASİR PROBLEMLƏRİ..</b>	<b>9</b>
1.1. Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsində yaranan gərginliklərdən meydana çıxan qüvvələrin onun hissələrində yaratdığı deformasiyanın tədqiqi.....	9
1.2. Təkərlərin relslərə sürtünməsindən və temperatur dəyişmələrindən calaqsız rels-şpal çərçivəsində meydana çıxan gərginliklərdən yaranan yerdəyişmələrin araşdırılması.....	11
1.3. Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsində yaranan gərginliklərdən meydana çıxan qüvvələrin yolun bərkidicilərində yaratdığı qüsurların araşdırılması.....	16
<b>II FƏSİL. CALAQSIZ YOLUN BƏRKİDİCİLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMIŞ DİAQNOSTİKASININ APARILMASININ METODİKİ ARDİCİLLİĞİ.....</b>	<b>20</b>
2.1. Calaqsız yolun dayanıqlığının hesablanması üsulları.....	20
2.2. Stabilliyin təyini üçün analitik üsullar və onların təhlili.....	24
2.3. Calaqsız yolun strabilliyinin hesablanması üçün enerji metodu.....	32
<b>FƏSİL III. CALAQSIZ RELS–ŞPAL ÇƏRÇİVƏLƏRİNİN GƏRGİNLİKLƏRDƏN AZAD EDİLMƏ ARDİCİLLİĞİ.....</b>	<b>39</b>
3.1. Calaqsız yolun güc və stabilliyə hesablanması.....	39
3.2. Calaqsız yolun sabitliyə hesablanması.....	40
3.3. Calaqsız yolun iş rejiminin təyini.....	42
<b>NƏTİCƏ.....</b>	<b>45</b>
<b>İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.....</b>	<b>46</b>

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı.** Dissertasiya işinin mövzusu “Calaqsız yolun bərkidicilərinin avtomatlaşdırılmış diaqnostikasının aparılmasının tədqiqi” - dir. Calaqsız yol ən müasir və ən əlverişli yol konstruksiyasıdır. Adi dəmir yollarından fərqli olaraq calaqsız dəmir yollarının çəkilişində temperaturlar fərqi dəqiq gözlənilmə tələbi ortaya çıxır. Belə ki, əgər dəmir yolu xətti çəkilən bölgədə illik temperaturlar fərqi nəzərə alınmazsa, onda temperaturun yüksək hədlərində relsin şpallar üzərində və ya şpallar ilə bircə ballast qatı üzərində yanlara qaçma halları baş verə bilər.

Bundan başqa, uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsinin uzunmüddətli istismarı prosesində meydana çıxan gərginliklərdən yaranan yerdəyişmələr, relslərin müəyyən hissəsinin alt quruluşunda təmir işləri görülərkən onun qaldırılma məcburiyyətindən və ya üzərinə ağır çəkili yol maşınlarının çıxması zamanı yaranan gərginliklərdən calaqsız yolun bu hissəsinin uzunluğu boyunca meydana çıxan qüvvələrin yaratdığı qalıq deformasiya onun müxtəlif hissələrində, o cümlədən calaqsız yolun bu hissəsindəki bərkidicilərdə müəyyən fəsadlar törədə bilər ki, bu məsələlərin avtomatlaşdırılmış diaqnostik tədqiqatların köməyi ilə dərinlən araşdırılmasının, yolların qatarburaxma qabiliyyətinin və hərəkət sürətinin artırılmasında rolu böyükdür.

Ona görə də, qeyd edilən məsələlərin dəmiryol nəqliyyatı ilə daşıma məhsuldarlığının yüksəldilməsində böyük əhəmiyyət kəsb etdiyini nəzərə alaraq, bu istiqamətdə aparılan tədqiqatları aktual saymaq olar.

**Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri.** Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsinin uzunmüddətli istismarı prosesində meydana çıxan gərginliklərdən yaranan yerdəyişmələrdən, həmçinin relslərin müəyyən hissəsinin alt quruluşunda təmir işləri görülərkən onun qaldırılma məcburiyyətindən calaqsız yolun bu hissəsindəki bərkidicilərdə meydana çıxan qüsurların avtomatlaşdırılmış diaqnostikasının aparılmasının tədqiq edilməsi sayəsində calaqsız dəmir yolunun lazımi istismar

səviyyəsində saxlanması üçün onun bərkidicilərindən irəli sürülən xüsusi tələblər işləyib hazırlayaraq, yolların qatarburaxma qabiliyyətinin artırılmasına nail olmaqdır.

***Tədqiqatın predmeti və obyektı.*** Tədqiqatın predmeti uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivələrinin gərginliklərdən azad edilməsi texnologiyasının təkmilləşdirilməsi, obyektı isə Respublika ərazisində mövcud olan dəmir yollarındakı uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivələridir.

***Tədqiqat metodları.*** Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsinin istismarı və təmiri prosesində meydana çıxan gərginliklərdən azad edilməsi texnologiyasını təkmilləşdirmək və bununlada yolların qatarburaxma qabiliyyətini artırmaqla dəmiryol nəqliyyatı ilə daşıma məhsuldarlığının yüksəldilməsidir.

***Elmi yeniliyin elementləri.*** Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsinin istismarı və təmiri prosesində meydana çıxan gərginliklərdən yaranan yerdəyişmələr nəzəri cəhətdən təhlil edilərək, relslərin istənilən hissəsinin eninə və uzununa oxları boyunca təsir göstərən qüvvələrdən onların bərkidicilərində meydana çıxma biləcək qüsurların yaranma qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsidir.

***Müdafiə üçün təqdim edilən nəticələr.*** Bu məqalədə uzununa gərginliyin və ya relsin neytral temperaturunun qiymətləndirilməsi çərçivəsində davamlı qaynaqlanmış relsin dayanıqlığını qiymətləndirmək üçün ən populyar və yeni yaranan qeyri-invaziv üsulların nəzərdən keçirilməsi təmin edilmişdir. Bu üsullardan bəziləri yüksək sıxılma gərginliyinə məruz qaldıqda relslərin struktur davranışını proqnozlaşdırmağa yönəlmiş ədədi və analitik metodlara əsas verir.

Bu analitik və ədədi üsullar da bu araşdırma məqaləsinin diqqət mərkəzində olmuşdur. Məqalənin əhatə dairəsi davamlı qaynaqlı rels sahəsində yeni gələnlərə və mütəxəssislərə son üç onilliyin elmi ədəbiyyatının ən müasir vəziyyətinin vahid bir görünüşünü təmin etmək idi. Təqdim olunan işlərin nəticələrinə əsasən hər bir qeyri-dağıdıcı qiymətləndirmə metodunun üstünlükləri və məhdudiyətləri haqqında müzakirə aparıldı. İnkişaf etməkdə olan texnologiyalar haqqında icmal əhatə edir.

Son on ildəki inkişaf, kommersiya sistemləri ilə bağlı müzakirələr 1990-cı illərdə inkişaf etdirilən araşdırmalara qədər uzanır.

Bu yazıda relslərin struktur proqnozu ilə bağlı təqdim olunan tədqiqatlar iki böyük qrupda toplanmışdır: bir qrup struktur sabitlik probleminə baxan və bir dəfə büküldükdən sonra relslərin yanal yerdəyişmələrini təyin edən; ikinci qrup uzununa gərginliyin funksiyası kimi relslərin statik və dinamik reaksiyasını proqnozlaşdıran modellərə baxır. Bu modellərdən bəziləri deformasiyaya əsaslanan və vibrasiyaya əsaslanan NDE metodlarının əsasını təşkil edir. Modal xarakteristikalar gərginliyin qiymətləndirilməsi məqsədləri üçün istifadə edildikdə, oxlu gərginlik və modal tezlik arasında əlaqə yaratmaq üçün xüsusi bərkidilmiş rejim formasından daha çox istifadə olunur.

Bu xüsusi rejimin böyük maraq doğurmasının iki səbəbi var. Birinci səbəb düyünlərin yeri ilə bağlıdır. Rejim formasının qovşaqları bərkidicilərdə yerləşdiyinə görə, bu bərkidicilərin sərtlik əmsallarındakı qeyri-müəyyənliklər bu rejimin təbii tezliyinə minimal təsir göstərir.

İkinci səbəb, bu rejimin rezonans tezliyinin eksenel yükə daha yüksək həssaslığı ilə əlaqələndirilir. Nəticədə, bu sancaqlı rejim forması üçün rezonans tezliyinin dəyişmələri relsdəki mövcud eksenel yükün kəmiyyətini müəyyən etmək üçün istifadə edilə bilər. Eksenel yüklərə həssas olmayan təbii tezliklərə malik olan rejimlər eksenel yükü tapmaq üçün yaxşı namizəd deyil.

Dinamik analitik modellərdə bükülmə davranışını təsvir edən idarəedici tənliklər adətən analitik yolla həll olunan diferensial tənliklərdir. Dinamik ədədi modellərdə isə idarəedici tənliklər analitik şəkildə deyil, sonlu elementlər metodları (FEM) kimi metodlardan istifadə edilir. FEM-lərlə, stressin təsirinin kəmiyyətə qiymətləndirilməsi lazım olduqda, əksər tədqiqatlar relsin bütün uzunluğunu modelləşdirməkdənsə, qısa rels (50 ilə 200 m arasında) modelləşdirir. Bunun əvəzinə digər tədqiqatlar relslərin dövrü təmsilini təmin edir. Son bir neçə ildə hesablama qabiliyyətinə xələl gətirmədən struktura mürəkkəbliyə əlavə etməyə imkan verən sonuncu formulaya maraq artmışdır.

Təhlil səyi. Bu icmal məqaləsinin əhatə dairəsinə görə, dəmir yolu mühəndisliyinin bəzi struktur aspektləri, məsələn, dəmir yolu relslərinin yanal müqavimətinin proqnozlaşdırılması, qiymətləndirilməsi və/və ya təkmilləşdirilməsi üzrə tədqiqatlar, məsələn, ədəbiyyat 80-83 nəzərdən keçirilməmişdir. Əvvəlki tədqiqatların əsas çatışmazlığı dəqiq şəkildə aydınlaşdırılmalıdır. Uyğun istinadlardan istifadə edilməlidir. Bu nəzərdən keçirilən məqalənin ikinci hissəsində NDE metodları yeddi fərqli qrupa bölündü istismar olunan fiziki prinsiplərə əsaslanan kateqoriyalar.

Aktiv relslərdə sınaqdan keçirildikdən sonra effektivliyi sübuta yetirilən bu üsullar üçün ən böyük çətinliklər sistemin yandan keçən qatarların vibrasiyasına qarşı möhkəmliyi və/yaxud əlverişli hava şəraitində gün boyu ölçmələrin aparılması zərurəti ilə bağlıdır ki, bu da gərginlik-sıxışa səbəb olur. eyni müşahidə müddəti ərzində dəmir yolu. Digər daha konsolidasiya edilmiş sistemlər relslərin bağlanması və yolun hazırlanması tələbindən əziyyət çəkir. Bəziləri ortaya çıxır

texnologiyalar laboratoriyada perspektivli nəticələr göstərmişdir, lakin sahənin yoxlanılmasına ehtiyac duyur. İdeal üsul dəmir yolu ölçmək imkanına malik olmalıdır:

- 1) uzun müddət rels bağlanmadan;
- 2) portativ və asan daşınan avadanlıqla;
- 3) daimi quraşdırma tələb etməyən tək ölçü ilə.

Bu, çox güman ki, NDE metodunu yolun həndəsi və mexaniki xüsusiyyətlərini və bu kimi anomaliyaların mümkün mövcudluğunu nəzərə alan möhkəm analitik və ya ədədi modelə birləşdirməklə mümkün ola bilər. çatışmayan bağlayıcılar, rels aşınması və s.

*Nəticələrin aprobasiyası.* Əhmədov, H.M., Kərimov Z.K., Hüseynov, A.M., Cəfərov, B.C. Calasız dəmiryol şəbəkəsində təkər cütlərindən relslərə düşən təsirlərin ölçülməsi In Mütərəqqitexnologiyalarvəinnovasiyalar (9th Republic Student and Young Researchers Conference). Bakı.

**Nəşrlər.** Dissertasiya işinin əsas məzmunu AzTU-nun “Dəmiryol nəqliyyatının istismarı” kafederasının seminarlarında müzakirə edilmiş və 1 məqalə dərc olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin həcmi və strukturu.** Dissertasiya işi girişdən, ümumi xarakteristikadan, 3 fəsildən, nəticədən, istifadə olunan ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 45 səhifədir. İşə 4 şəkil, 1 cədvəl və 32 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı daxil edilmişdir.



# I FƏSİL. UZUNÖLÇÜLÜ CALAQSIZ DƏMİR YOLUNUN ÇƏKİLMƏSİNİN ƏHƏMİYYƏTİ VƏ ONLARDAN İSTİFADƏNİN MÜASİR PROBLEMLƏRİ

## 1.1. Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsində yaranan gərginliklərdən meydana çıxan qüvvələrin onun hissələrində yaratdığı deformasiyanın tədqiqi

Məlumdur ki, dəmir yolunun istismarı zamanı ən çox təsirlənən yerlər və nöqsanların yarandığı yerlər rels birləşmələridir. Əvvəllər calaqların sayını azaltmaq üçün 12,5 m uzunluğunda buraxılmış relslərdən uzunluğu 25 m olan relslərdən istifadə edildi, daha uzun relslər istehsal etmək mümkün olmadığından, onların sayını azaltmaq üçün onları bir-birinə qaynaq etmək fikri yarandı. Bu məsələnin həllində bir sıra çətinliklər yarandı (*Əhmədov, H.M. (2010)*).

Belə calaqsız relslərin istehsal texnologiyasında temperatur fərqi xüsusi diqqət yetirilməlidir. İkiqat relslərin calaqsız hazırlanması eyni temperatur şəraitində aparılmalıdır. Digər hallarda, havanın temperaturunun dəyişməsi, relslərin müxtəlif genişlənməsi və ya büzülməsi relslərin uzunluğunun müxtəlif ölçülərdə dəyişməsinə səbəb olur ki, bunun da nəticəsində müəyyən məsafələrdə relslərarası məsafələr dəyişir və yanal hərəkət halları baş verir.

Bu, dəmir yollarının istismarı zamanı hərəkət heyətinin təhlükəsiz hərəkətinin təmin edilməsində çətinliklər yaradır. Calaqsız relslərin ən böyüyü 950 m, ən kiçik ölçüsü 150 m -dir və istismar zamanı bu relslərdə nəzərə çarpan qüsurlar yaranır. Bu cür qüsurları aradan qaldırmaq üçün fərdi təmir işlərinə əlavə olaraq, gündəlik təmir, zəruri hallarda onların dəyişdirilməsi daxildir (*Новакович, B.M., (2001)*).

İstismar zamanı aşınma və digər qüsurlar yarandığı üçün relslər çıxarıla və dəyişdirilə bilər. Reylərin dəyişdirilməsi zəhmət tələb edən iş olduğundan onlardan daha az yemək vacib hesab olunur ki, buna relslərin kimyəvi tərkibinin düzgün seçilməsi və düzgün quraşdırılması ilə nail olmaq olar. Əməliyyat zamanı relslər şaquli və üfüqi istiqamətdə korroziyaya məruz qalır. Yan aşınma təkrar darağının (şin) relsin

daxili tərəfində sürtünməsi nəticəsində yaranır. Bəzən rels başlığında dalğavari eroziyalar da müşahidə olunur. Bir rels kəsici (daşlama) vaqonundan istifadə edərək görünən dalğalı eroziyanı hamarlaya bilərsiniz (*Azərbaycan Dövlət Dəmir Yolu, Texniki İstismar Qaydaları, (2000)*).

Reylərdə baş verən qüsurlardan biri də ucların bir-birinə bağlandığı yerlərdə jurnal hissələrində nəzərdə tutulmuş dəşiklər arasında çatların yaranması və birləşmələrin boşaldılmasıdır.

Bundan əlavə, rels oturacağıın kənarı qırılır və beləliklə rels boşalır. Bəzən relslərin səthində aşınma səbəbiylə çuxurlar da yarana bilər.

Reylərin üzərinə keyfiyyətsiz döşəndiyinə görə təbiət dəyişdikdə onların səthində və yanlarında lay şəklində çatlar da əmələ gəlir.

Göstərilən xüsusi istehsal və çəkmə üsulları ilə relslərin istismar etibarlılığının artmasına baxmayaraq, standart uzunluqlu relslərin istismarı zamanı (xüsusilə də rels barlarında) yaranan qüsurlar uzun relslərin istehsalına səbəb olmuşdur. 1855-ci ildə tikilmiş ilk relssiz dəmir yolu (bu istehsalın patenti təxminən 30 il əvvəl alınmışdır) istismar zamanı çoxlu qüsurların meydana çıxması səbəbindən özünü doğrultmadı və temperatur dəyişikliyi baş verəndə dəmir yolunda ciddi qüsurlar yarandı (*Додук, С.Д. (1999)*).

Lakin XX əsrin 50-ci illərindən sonra elmi-texniki tərəqqinin nailiyyətlərinə istinad edərək, calaqsız relslərin (lokomotiv sürücülərinin dediyi kimi, “məxməri yol”) tikintisində uğurlar əldə edildi. Yaz aylarında eyni temperatur şəraitində 150-950 m uzunluğunda şpal çərçivələri qaynaqlanır və düzgün quraşdırma texnologiyasına əməl olunarsa, belə bir rels yüksək temperaturdan qaçmır. Uzun məsafəli dəmir yolu relslərinin bu calaqsız quraşdırılması rels birləşmələrində istifadə olunan tonlarla yüksək keyfiyyətli metala qənaət edir, həmçinin dəmir yollarının tikintisi və istismarı zamanı texniki xidmət xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Sürtünməni azaltmaqla, hərəkət heyətinin təkərlərindən ötürülən zərbələri azaltmaqla ballast təbəqəsinin elementlərinin, şpalların, lokomotivlərin və vaqonların hərəkət edən hissələrinin

istismar müddəti də artır. Calaqsız yol və yüksək sürətli nəqliyyat anlayışları bir-biri ilə sıx bağlıdır (*Отраслевые правила по ОТ при техобслуживании и ремонте устройств СЦБ на ж/д РФ(ЦШ-877)*).

## **1.2. Təkərlərin relslərə sürtünməsindən və temperatur dəyişmələrindən calaqsız rels-şpal çərçivəsində meydana çıxan gərginliklərdən yaranan yerdəyişmələrin araşdırılması**

Adi dəmir yollarından fərqli olaraq, relssiz dəmir yolları tikərkən temperatur fərqlərini dəqiq proqnozlaşdırmağa ehtiyac var. Beləliklə, dəmir yolu xəttinin çəkildiyi bölgədə illik maksimum temperatur fərqi nəzərə alınmırsınızsa, yüksək temperatur hədlərində rels şpallarla birlikdə şpallar boyunca və ya ballast təbəqəsi boyunca yana doğru yuvarlana bilər. Aşağı temperatur həddi nəzərə alınmazsa, relslərdə tıxac yaranır, relslərdə boşluqlar artır və hətta relslərin sıradan çıxması riski də yaranır. Ətraf mühitin temperaturunun illik dəyişməsinin icazə verilən amplitudasının [T] və relslərin quraşdırılması zamanı bu mühitdə faktiki temperatur dəyişməsinin müşahidə olunan amplitudasının müqayisəsi əsasında bu ekoloji və istismar şəraitində sürüşməyən relslərin quraşdırılması mümkündür. . Bu məsələlərə baxılması Şəkil 1.1-də göstərilən sxem üzrə aparılmalıdır.  $T_A$  indeksinin dəyəri relssiz relslərin quraşdırıldığı mühitdə bir neçə il ərzində müşahidə edilən maksimum və minimum temperaturdan aşağıdakı kimi müəyyən edilə bilər (*Əhmədov, H.M.( 2005)*):

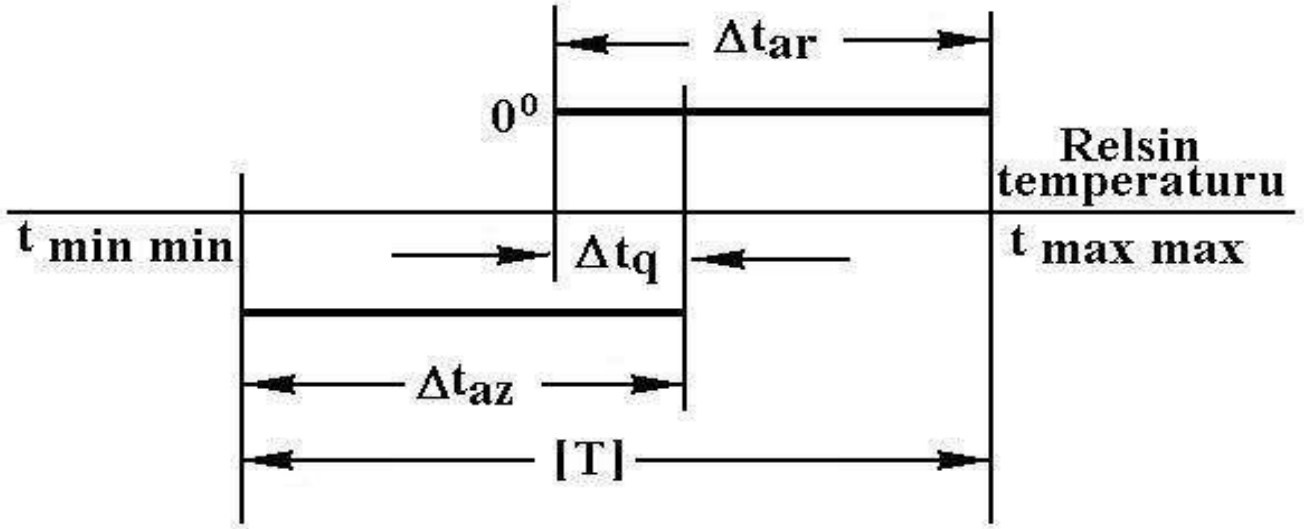
$$T_A = t_{\max \max} - t_{\min \min} \quad (1.1)$$

[T] – göstəricisinin qiyməti aşağıdakı düsturla təyin oluna bilər:

$$[T] = \Delta t_{az} + \Delta t_{ar} - [\Delta t_q] \quad (1.2)$$

burada  $\Delta t_{az}$  - rels qurğusunun bərkidilmə anındakı temperaturla müqayisəsi ilə müəyyən edilmiş mənfi istiqamətdə temperaturun dəyişməsinin yol verilən qiyməti;  $\Delta t_{ar}$  - rels qurğusunun temperaturunun müsbət istiqamətdə artmasının onun bərkidilməsi zamanı mövcud olan temperaturla müqayisəsi əsasında müəyyən edilən

müavinət.  $[\Delta t_q]$  - rels çərçivəsinin quraşdırılması üçün icazə verilən maksimum temperaturun dəyəri (iş şəraitindən asılı olaraq icazə verilən ən aşağı müəyyən edilmiş hədd  $\Delta t = 10^0 S$  qəbul edildi).



**Şəkil 1.1. Calaqsız relslərin temperatur dəyişmələri**

Hesablamalara əsasən əgər  $T_A \leq [T]$  olarsa, onda fəsilərə görə calaqsız relslərin temperatur gərginliyinin azaldılması lazım gəlmədiyi hal üçün  $\Delta t_q$  göstəricisinin qiymətini aşağıdakı düsturla müəyyən olunur [7]:

$$\Delta t_q = \Delta t_{az} + \Delta t_{ar} - T \quad (1.3)$$

$t_q$  göstəricisinin maksimum və minimum qiymətləri aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$\begin{aligned} \min t_q &= t_{\max\max} - \Delta t_{ar} \\ \max t_q &= \Delta t_{ar} - t_{\min\min} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Calaqsız relslərin hazırlanmasında hərəkət tərkiblərinə görə yaranan  $\sigma_v$  gərginliyi və temperatur fərqi təsirinə görə ortaya çıxan  $\sigma_t$  gərginliyi nəzərə alınır və bu gərginliklər icazə verilən  $[\sigma]$  gərginlik həddindən çox olmamalıdır:

$$K_e \sigma_v + \sigma_t \leq [\sigma] \quad (1.5)$$

Aşağıdakı düsturları alarıq:

$$\sigma_{t_s} \leq [\sigma] - K_e \sigma_b \quad (1.6)$$

$$\sigma_{t_d} \leq [\sigma] - K_e \sigma_0 \quad (1.7)$$

burada  $\sigma_{t_s}$  və  $\sigma_{t_d}$  – en kəsiyi boyunca relsin meydana çıxan sıxıcı və dartıcı gərginliklər, ölçüsü MPa (kq/sm<sup>2</sup>);  $\sigma_0$  və  $\sigma_b$  – hərəkət tərkiblərinin təkərlərinə görə relslərin oturacağında və başlığında yaranan normal gərginliklərin, ölçüsü MPa (kq/sm<sup>2</sup>);  $K_e$  – relsin möhkəmliyinin ehtiyat əmsalıdır və hesablamalar zamanı  $K_e=1,3$  qəbul olunur.  $[\sigma]$  – gərginliyin icazə verilən həddi olub, relsin polad materialda  $[\sigma] = 350$  MPa (3500 kq/sm<sup>2</sup>) qəbul olunur (*Əhmədov, H.M., (2011)*).

Temperaturlar fərqinə görə calaqsız relslərin öz ölçülərini dəyişmədiyi hal üçün  $\sigma_t$  – göstəricisinin qiyməti düsturla müəyyən edilir:

$$\sigma_t = E\alpha\Delta t \quad (1.8)$$

burada,

$E$  – polad materialın elastiklik moduludur və hesablamalara əsasən  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa ( $2,1 \cdot 10^6$  kq/sm<sup>2</sup>) qəbul olunur;

$\alpha$  – xətti genişlənmə əmsalıdır və hesablamalara əsasən  $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6}$  qəbul olunur;

$\sigma_t$  – rels-şpal çərçivələrinin hazırlanma temperaturu ilə gərginliyin müəyyən olduğu müddətdəki temperaturlar fərqi sayılır.

Relslərin polad materialının möhkəmlik həddinə görə ən çox temperaturun icazə verilən yüksəkliyinin, bu calaqsız relslərin hazırlandığı temperatur həddi ilə fərqi aşağıdakı düsturlarla müəyyən olunur (*Типовая инструкция по ОТ для электромеханика и электромонтера СЦБ и связи(ЦШ-796)*):

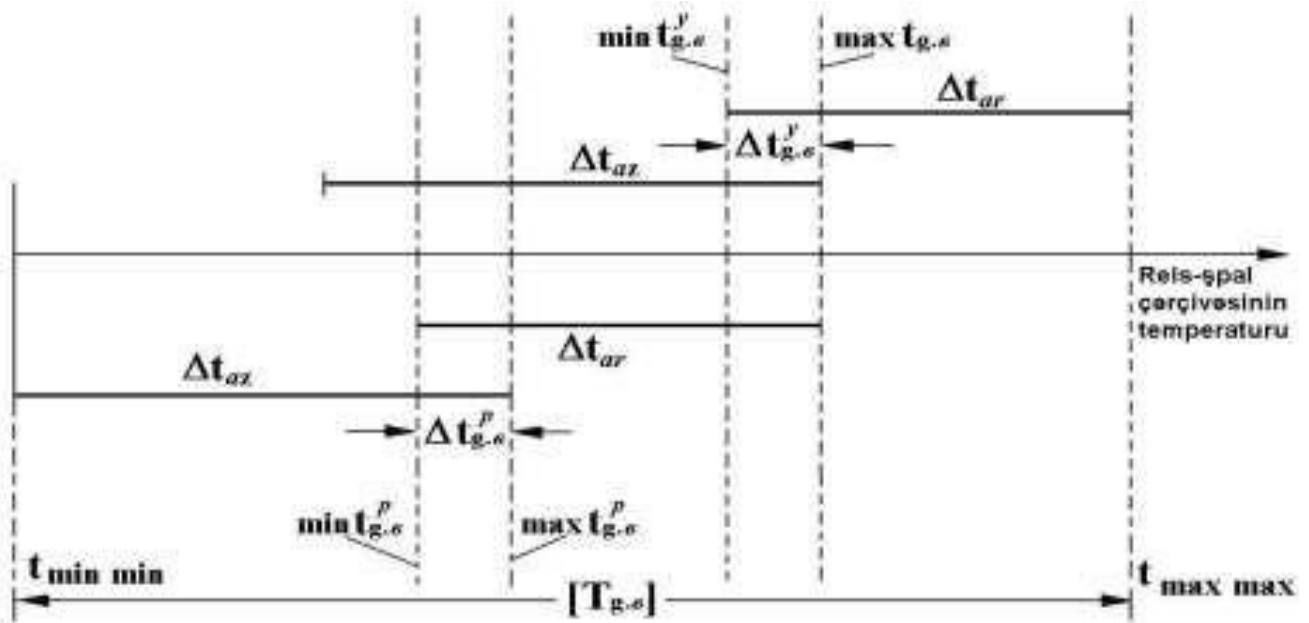
### **Temperaturun azalması istiqamətində (relsin oturacağıının möhkəmliyinə görə)**

$$\Delta t_{0_{az}} = \frac{[\sigma]K_e\sigma_0}{\alpha E} = \frac{350-1,3\sigma_0}{2,5} \quad (1.9)$$

### **Temperaturun artması istiqamətində (relsin bağığının möhkəmliyinə görə)**

$$\Delta t_r = \frac{[\sigma]K_e\sigma_b}{\alpha E} = \frac{350-1,3\sigma_b}{2,5} \quad (1.10)$$

Dəmir yolunda maksimum icazə verilən temperatur dəyişikliyi payız və yaz mövsümlərində temperatur stresinin relyefi nəzərə alınmaqla aşağıdakı düsturla hesablanır (şəkil 1.2) (Əhmədov, H.M., Kərimov, Z.K., Cəfərov, B.C. (2006):



**Şəkil 1.2. Payız və yaz fəsillərdə calaqsız relslərin, temperatur gərginliyinin temperatur diaqramı**

$$[T_{g.b}] = \Delta t_{az} + 2\Delta t_{ar} - \sum \Delta t_{g.b} - 12^{\circ}C \quad (1.11)$$

burada

$\sum \Delta t_{g.b}$  - payız və yaz fəsilləri üçün mövcud temperatur intervallarının cəmidir,

payız fəsili üçün  $-\Delta t_{g.b}^p = 10^{\circ}C$

yaz fəsli üçün  $-\Delta t_{g.b}^y = 15^{\circ}C$  qəbul edilirsə, onda

$\sum \Delta t_{g.b} = 25^{\circ}C$  olar,  $12^{\circ}C$  – temperatur gərginliyinin azaldılması zərbe endirici qurğularla etdikdə, qalıq gərginlik ehtimalının mövcud olan ehtiyat temperatur əmsalidir.

Ağır yükdaşımalarda oxlara düşən gərginliyin və innovativ vaqonların yeni formalarının ümumi yükün dəmir yolu xəttinə təsirinin tədqiqi və tətbiqi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Daşımalar zamanı dəmiryol xəttinə yan təsirlərin ölçülməsi üçün küləyin, döngələrdə yaranan mərkəzdən qaçma qüvvələrinin təsirindən yaranan yer süxurunun xüsusiyyətlərindən asılı olan Rusiyada Şlyump müvafiq olaraq **ГОСТ Р55050-2012** və «**РЖД2016**» standartı tətbiq olunur. Rusiyada bundan başqa **О. П. Ершков** metodundan da istifadə olunur.

Yan təsirlərin ölçülməsi və nəzarətdə saxlanılması üçün dəmiryol relslərinin rels boynuna quraşdırılmış **ternorezistorlardan** istifadə olunur. Avropanın bir çox ölkələrində Şimali Amerikada isə **amerika metodundan** istifadə olunur ki, bu zaman **ternorezistor** dəmiryol relsinin dabanına qoşulur. Mahiyyəti isə ondan ibarətdir ki, Rusiyada relsin vertikal, amerika üsulunda isə üfüqi sabitliyi nəzarətdə saxlanılır. Şlyump metodunda 4 ternorezistordan istifadə olunur. Amerika metodunda isə 1 ternorezistordan istifadə olunur. Bu fərq izafi məsrəfdə amerika metodunun xeyrinə olsa da, Şlyump metodu öz dəqiqliyi ilə üstün olur. Ternorezistorun tətbiqi daşıymalar zamanı dəmiryol relsində yaranan kəmiyyətə bərabər əks istiqamətli qüvvələr arasında olan xətti asılılığa əsaslanır (*Qabulzadə, A.H., (2006)*).

Dəmiryol relslərinin  $O_1$  və  $O_2$  nöqtələrində şaqüli  $Q$  və yan  $P$  qüvvələri arasındakı münasibəti aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$\begin{cases} M_{01} = QL_x - PL_{y1} \\ M_{02} = QL_x - PL_{y2} \end{cases} \quad (1.12)$$

Əyilmə məqamlarını isə

$$M_{01} - M_{02} = QL_x - PL_{y1} - QL_x + PL_{y2} = P(L_{y2} - L_{y1}) \quad (1.13)$$

Yuxarıda göstərilmiş düsturu əsas tutaraq yan qüvvə  $P$  aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik :

$$P = \frac{M_{01} - M_{02}}{L_{y2} - L_{y1}} = \frac{\Delta M}{\Delta L_y} \quad (1.14)$$

Dəmiryol relsində müəyyən edilmiş ixtiyari  $O_1$  və  $O_2$  nöqtəsinin düzgün təyin olunması ternorezistorların yerləşdirilməsindən çox asılıdır.

### 1.3. Uzunölçülü calaqsız rels-şpal çərçivəsində yaranan gərginliklərdən meydana çıxan qüvvələrin yolun bərkidicilərində yaratdığı qüsurların araşdırılması

***Onlayn öyrənmə strategiyasına əsaslanan bərkidici bölgənin yerləşdirilməsi üsulu.*** Bərkitmə bölgəsinin yerləşdirmə metodu bərkidici bölgəni orijinal trek şəklindən dəqiq şəkildə tapmağa və çıxarmağa istinad edir. Mövcud bərkidici bölgənin yerləşdirilməsi üsullarının əksəriyyəti kənar xüsusiyyətlərinə və qarşılıqlı məlumat korrelyasiyasına əsaslanan dəmir yolu bağlayıcı qüsurlarının yoxlanılması üsuludur. Bu üsullar əvvəlcə relslərin və şpalların kənar xüsusiyyətlərini aşkar edir və bərkidiciyi təyin etmək üçün onların mövqe əlaqəsindən istifadə edir.

Bölgələr. Bununla belə, çoxlu dəmir yollarında, balast yataqlarının və bərkidicilərin növü sabit deyil, bu da yerləşdirmənin zəif işləməsi ilə nəticələnəcəkdir. Şəkil 1.1 müxtəlif dəmir yollarında balast yataqlarının və bərkidicilərin növünü göstərir. Mövcud bərkidici yerləşdirmə üsullarının çoxlu dəmir yollarının yoxlanılması üçün tətbiq edilməməsi probleminə yönəlmiş, onlayn öyrənməyə əsaslanan bərkidici bölgənin yerləşdirilməsi üsulu strategiyası təklif olunur (*Андреевских, А.В., Донцов, В.К. (2000).*

Bağlayıcı bölgə yeri. Orijinal trek təsvirində 5 ədəd qabaqcadan məlumat var: hər bir trek təsviri yalnız 1 relsdən ibarətdir; rels şəklin x oxuna perpendikulyardır; dəmir yolu eni sabit bir dəyərdir; bərkidici sahəsinin eni bərkidilir və relsin hər iki tərəfinə paylanır; hər trek şəkli ən azı 6 bərkidici bölgədən ibarətdir.



Yuxarıdakı əvvəlki məlumatlara əsaslanaraq, xətt seqmenti detektoruna (LSD) əsaslanan rels sərhədinin yeri metodu (Huang, Luo, & Wang, 2012) relsin tez yerini müəyyən etmək üçün istifadə olunur ki, bu da namizəd bərkidici sahələrinin əhatə dairəsini azalda bilər. Sonra, sürüşmə pəncərə üsulu ilə namizəd bərkidici sahələrində alt pəncərələr çıxarılır və bərkidici şablonları ilə alt pəncərələr arasında HOG xüsusiyyətlərinin oxşarlığı hesablanır. Nəhayət, ən yüksək oxşarlığa malik alt pəncərə optimal bərkidici bölgə kimi seçilir və digər bərkidici bölgələr rels komponentlərinin paylanmasına və bərkidici sahəsinin simmetriyasına uyğun olaraq təxmin edilir.

Trasın təsviri yoxlama sistemi (Xu, Shi, Ren, Han, & Wang, 2013) tərəfindən əldə edilir. Hər bir təsvirin ölçüsü (800 3 1,230) piksel, hər bir bərkidici bölgənin ölçüsü (90 3 100) pikseldir. , relsin eni 60 piksel, bərkidici hissələrin yan məsafəsi 55-65 piksel və uzununa məsafəsi 275-315 pikseldir. Bağlayıcı bölgənin yerləşdirilməsi metodunun sxematik diaqramı Şəkil 1.2-də göstərilmişdir, burada qırmızı kəsikli xətt yerləşən dəmir yolu göstərir

Sərhəd, yaşıl kəsikli xətt sahəsi namizəd bərkidici sahəsidir, yaşıl düzbucaqlı qutu seçilmiş optimal bərkidici bölgəni və sarı düzbucaqlı qutu ilə əhatə olunmuş çərçivəni göstərir. Mavi kəsikli xətt təxmin edilən bərkidici hissələrini göstərir.

Onlayn öyrənmə strategiyası Onlayn öyrənmə strategiyası bərkidici şablon kitabxanasını dinamik şəkildə yeniləmək üçün istifadə olunur. Xüsusilə, bərkidici şablon kitabxanası onlayn kitabxanaya və oflayn kitabxanaya bölünür. Oflayn kitabxanada əl ilə yenidən yoxlanmış bərkidici şablonları var, yoxlama prosesində yenilənməyəcək. Yoxlama zamanı onlayn kitabxanadan istifadə olunacaq.

K-ən yaxın qonşu (K-NN) metodu olan bərkitmə hissələrinin oxşarlığını hesablamaq və sonra yeniləmə qaydalarına uyğun olaraq dinamik olaraq yeniləmək. Onlayn öyrənmə strategiyası aprior biliklərə əsaslanır: bitişik kadrın trek şəkilləri işıq şəraitində, yol kənarındakı mühitdə və bağlayıcıda kəskin dəyişikliklər olmayacaq.

Növləri. Buna görə də, onlayn şablon kitabxanası üçün yeniləmə qaydaları aşağıdakılardır: relsin hər iki tərəfində ən yüksək oxşarlığa malik bərkidici bölgələri

onlayn şablon kitabxanasında normal bərkidici bölgə növbəsinin quyruğuna əlavə edin; təsadüfi olaraq 2 fon bölgəsini çıxarın və hər iki tərəfindəki bərkidilməmiş bölgələrdə və onları onlayn şablon kitabxanasında fon bölgəsi növbəsinin quyruğuna əlavə edin; onlayn şablon kitabxanasındakı növbənin uzunluğu əvvəlcədən təyin edilmiş N həddindən böyükdürsə, növbənin başındakı şablonu silin. Yeniləmə qaydalarına əsasən, növbə başında olan şablonlar uzaq məsafəli trek təsvirlərindən və növbənin quyruğunda yeni daxil edilmiş şablonlar son vaxt ərzində əldə edilmiş trek təsvirlərindən əldə edilir. Beləliklə, işıq şəraiti, yol kənarı mühiti və növbə başlığı şablonunun bərkidici növü cari trek şəklindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənə bilər. Şablon növbəsinin uzunluğu əvvəlcədən təyin edilmiş N həddi keçdikdə, növbənin başındakı şablon əvvəlcə silinir. Bu strategiya onlayn şablon kitabxanasının işıqlandırma şəraitinə, yol kənarındakı mühitə və cari trek şəklinin bərkidici növünə uyğunlaşa bilməsini təmin edə bilər və bərkidici bölgəsinin yerləşdirmə metodunun dəqiqliyini təkmilləşdirə bilər. Avtomatik annotasiya nümunəsi (*Шляхтер, М.И., (1980).*

Hal-hazırda nəzarət edilən bərkidici qüsurların tanınması üsulu təlim prosesi zamanı çoxlu sayda təlim nümunələri tələb edir. Bununla belə, faktiki tətbiqlərdə bərkidici nümunələrinin əl ilə toplanması və şərh edilməsi çox vaxt aparır və zəhmət tələb edir.

Buna görə də, onlayn şablon kitabxanası ilə yerləşən bərkidici bölgələrini əvvəlcədən təsnif edə bilən və böyük bir bərkidici təlimi qura bilən avtomatik nümunə annotasiya üsulu təklif olunur (*Багуц, В.П., Ковалёв, Н.П., Костроминов, А.М. (1991).*

Bərkidici qüsurların tanınması şəbəkəsini əvvəlcədən hazırlamaq üçün məlumat dəsti.

Avtomatik nümunə annotasiyasının təfərrüatlı prosesi göstərilmişdir. Bağlayıcı bölgənin yerləşdirilməsi mərhələsində, yerləşdirmənin səmərəliliyini artırmaq üçün şablon kitabxanasında yalnız normal şablon və fon şablonu istifadə olunur, lakin

avtomatik nümunə annotasiya mərhələsində, normal, zədələnmiş və əskik bərkidici şablonlarından bərkidici bölgələrinin təsnifat xalını hesablamaq üçün istifadə olunur, bərkidici bölgə isə təsnifatla  $\lambda$  həddən yüksək bal təlim nümunəsi kimi istifadə olunur.

K-NN metodu üçün ümumi təsnifat əsası səsvermə üsuludur. Bununla belə, rels bərkidicilərinin qüsurlarının yoxlanılması tapşırığında qüsurlu bərkidicilərin sayı çox azdır ki, bu da normal bərkidici şablonlarının sayı ilə qüsurlu bərkidici şablonlarının sayı arasında balanssızlığa səbəb olacaqdır. Üstəlik, K-NN metodunun təsnifat performansını azaldacaq yanlış şərh edilmiş səs-küy şablonları da var. Buna görə də bir çəki funksiyası nəzərdə tutulmuşdur (Золотарский А.Ф., (1995):

$$p_i^x = \frac{W_i}{\sum_j^C W_j} \quad (1.15)$$

Burada  $p_i^x$  giriş bərkidici bölgəsi şəklinin  $i$  kateqoriyasına aid olduğu xaldır;  $C$  kateqoriyaların ümumi sayıdır;  $N_j$   $K$  bitişik şablonlardakı  $j$  kateqoriyalı şablonların sayıdır;

BC giriş bərkidici bölgəsi  $x$  və bərkidici şablon  $tn$  arasında Bhattacharyya əmsalının hesablanması funksiyasıdır. Çəki funksiyası giriş bərkidicisinin  $x$  bölgəsi ilə hər bir bərkidici şablonunun orta Bhattacharyya əmsalı arasındakı oxşarlığı hesablayır, bu, nəinki müxtəlif növ bərkidici şablonlarının sayının balanssızlığını aradan qaldıra bilər, həm də  $K$ -nin həssaslığını azalda bilər. Şablonları bərkitmək və təsnifat dəqiqliyini artırmaq üçün -NN üsulu. Əvvəlki nəzarət edilən bərkidici qüsurların tanınması üsulu ilə müqayisədə, avtomatik nümunə annotasiya metodu əl ilə işləmədən qaçır və bu, bərkidici qüsurların yoxlanılması sisteminin avtomatlaşdırma dərəcəsini yaxşılaşdırır. Nəzərə alın ki, avtomatik qeyd edilmiş bərkidici nümunələrində az miqdarda yanlış annotasiya ola bilər (Донцов, В.К. (1992).

## II FƏSİL. CALAQSIZ YOLUN BƏRKİDİCİLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMIŞ DİAQNOSTİKASININ APARILMASININ METODİKİ ARDİCİLLİĞİ

### 2.1. Calasız yolun dayanıqlığının hesablanması üsulları

İş şəraitində bərkidicilərin yay bərkidiciləri tez-tez qırılır, boltlar, vintlərin bərkidilməsi zəifləyir, bərkidici elementlərin vəziyyəti pisləşir və bu da öz növbəsində aralıq rels bərkitmələrinin tutmasının zəifləməsinə, dayanıqlıq marjasının azalmasına səbəb olur. Burada yolların təmiri xərclərinin çoxalması məsələsi meydana çıxır. Bağlantıların sonradan normal səviyyəyə bərkidilməsi sıxma gücünü sabitləşdirir və zəiflənməsi praktiki olaraq dayanır. Dəyişən yüklər şəraitində yivli bərkidicilərin və kontaların bərkidilməsinin etibarlılığını və istismar müddətini artırmaq üçün bərkidicinin bərkidilmə vəziyyətini izləmək və onlara qulluq normalarına riayət etmək lazımdır (*Валиев, Ш.К., Валиев, Р.Ш., Донцов, В.К. (2006)*).

Hal hazırda, bu gün ki günümüzdə aralıq rels bərkidicilərinin bərkidilməsinin miqdarı calasız yolların tikintisi və saxlanmasına Təlimatlarla müəyyən edilir, bu tələb rels çəkərkən daha sonra, bərkidici terminalları bərkidərkən tork cihazlarından (alətlərdən) istifadə edərək rels tellərini temperatur rejiminə daxil edərəkən hazırlanır.

Qüsurlu və zəifləmiş bağlayıcı konstruksiyaları vaxtında müəyyən etmək üçün bağlayıcılarının işinə nəzarət etmək üçün müəyyən vacibi işlər həyata keçirilir.

Və nəticədə yolun vəziyyəti aralıq rels bağlayıcıları qatarların hərəkətinin təhlükəsizliyini təmin edir. Bununla belə, yolda bağlayıcılarının faktiki vəziyyətinə avtomatik nəzarət və bəs verə biləcək qüsurların, problemlərin öncədən aşkar olunması, müəyyən tədbirlərin görülməsinin xəbərdarlıq etmək və xüsusilə buraxılmış tonaj qeydə alınmaqla əlavə bərkitmə üsulları var.

Dəmir yolu izləmə sistemləri planda relslərə qulluq normalarından yayınmaların parametrlərini bərkitmə temperaturuna nisbətən f rels temperaturunun buraxıla bilən ən yüksək həddi və ballast qatının tərkibinin normalarından kənara çıxması ilə nəzarət etməyə imkan verir amma aralıq rels bərkidicilərinin bərkidilmə miqdarını qiymətləndirmək üçün avtomatlaşdırılmış mexanizm hal hazırda yoxdur , buna da nəzarət olunmalıdır (*Железнодорожные станции и узлы, (1986)*).

E.M. Bromberq, A.Ya. Koqan, və digər alimlər, müasir hesablama metodlarının birinci məlumatları, digər proseslər arasında, relslərin burulmasına qarşı müqavimət qüvvələrinin dəyərlərini tələb ovlur; bərkitmə növündən və onların faktiki vəziyyətindən asılı olan şpallara nəzarət. Buna görə də, bu iş aparıldı ki, bu da məhz buna görə təsirini qiymətləndirməyə imkan verdi bağlayıcıların faktiki vəziyyətinin calaqsız yolun boşalmaya qarşı dayanıqlığına və icazə verilən artımın miqyasında əlavələrə qarşı təsirini, bərkidicinin bərkidilmə momentindən asılılığını rels telinin temperaturunu ölçür.

Avtomatlaşdırılmış diaqnostika metodundan istifadə edərək, qatarın aşağıdakı aralıq rels bərkitmə elementlərinin yarasızlığı və deformasiyaya məruz qalmış sahələrin aşkarlanması vacib məsələlərdən birinin həllini əsas məqsəd kimi qarşıımıza qoyur. Təhlükəsiz istismar, qatarların hərəkətinin calaqsız istifadəsi, relsdəki nasazlıqların dərhal aşkarı, eləcə də calaqsız yolların cari təmiri üzrə işlərin maksimum dərəcəyə azaldılması ilə bağlı problemlər də bura daxildir (*Дмитриев, В.Р., Смирнова, В.И. (1983)*).

Yolun dayanıqlığının hesablanmış dəyişmə əmsalının müəyyən edilməsi ilə onların deformasiyasının miqyasına əsaslanaraq aralıq rels bərkidicilərinin faktiki bərkidilmə dəyərinin icazə verilən dəyərlərindən yayınmaların avtomatlaşdırılmış diaqnostikasının işlənməsi.

Məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifə və öhdəliklər qarşıya qoyulmuş və həll olunmuşdur:



Şəkil 2.1 OCPD002 Dəmiryol Diaqnostik Vasitə

1. SPM-18 yükləmə qatarının və onun analoqlarının keçidindən əldə olunan məlumatlardan istifadə etməklə və yol boyu bərkidilmələrin vəziyyətinə nəzarətin avtomatlaşdırılmış üsulu təklif edilir.

2. SPM-18 yük qatarından istifadə olunmaqla yolda bərkidici konstruksiyaların vəziyyətinə nəzarət etmək üçün metod işlənib hazırlanmışdır.

3. Bağlayıcının bərkidilmə dəyərinin laboratoriya sınaqlarının nəticələrinin yol hissəsində alınan nəticələrlə uyğunluğunu təmin etmək üçün tam miqyaslı sınaqlar həyata keçirilmişdir.

4. Rels telinin temperatur artımına qarşı relsin möhkəmliyindən, şpallara nisbətən relsin fırlanma bucağından, relsin dayanıqlığının zəifləməsinə, o cümlədən kiçik radiuslu əyrilərdə kəsikləri xarakterizə edən parametrlər müəyyən olunmuşdur. Rels bağlayıcılarının bərkidilmə anı və relsin üfüqi müstəvidə fırlanmasına qarşı olan müqaviməti də nəzərə alınmalıdır.

5. Laboratoriya təcrübələrindən istifadə etməklə aralıq rels bərkidicisinin konstruksiya vahidlərinin deformasiyasının miqdarının müxtəlif bərkitmə üsulları üçün relsə şaquli yükün təsiri altında klemenslərə və bağlıyıcılara tətbiq olunan təzyiqin miqdarından funksional asılılığı müəyyən olumuşdur (*Инструкция по техобслуживанию устройств СЦБ (ЦШ-720)*).

Tədqiqat metodologiyası

Tədqiqat nəzəri və eksperimental metodlar kompleksindən istifadə etməklə aparılmışdır, o cümlədən:

- yük altında yol elementlərinin işinin öyrənilməsinin eksperimental üsullarını;
- yolun üst quruluşunun konstruksiyalarının hesablanması üsullarını;
- A.Ya Kogan tərəfindən hazırlanmış, V.A.Grishchenko, A.V.V.

Tədqiqatın nəticələri və işlənmiş üsul keçidlərin məlumatlarına əsasən aralıq rels bərkidicilərinin bərkidicilərinin bərkidilmə miqdarının, habelə yol boyu möhkəmliyin dəyişmə əmsalının müəyyən olunması prosesini avtomatlaşdırmağa imkan verir. SPM-18 yükləmə kompleksi və onun analoqları:

- deformasiyanın miqdarına əsasən bərkidicilərin d faktiki bərkidilmə momentini təyin olunması üçün metod işlənib hazırlanmışdır;

- yolda nasaz və zəifləmiş bağlıyıcılığının avtomatlaşdırılmış monitorinqi və müəyyən olunması üsulu təklif edilmişdir, aralıq relslərin bağlıyıcılarının faktiki qiymətləri nəzərə alınmaqla yolun möhkəmliyinin qiymətləndirilməsinin avtomatlaşdırılmış metodu işlənib hazırlanmış və təklif olunmuşdur.

- SPM-18 yükləmə qatarının keçidlərindən və onun analoqlarından əldə edilən məlumatlar əsasında aralıq rels bağlıyıcılarının bərkidilmə dəyərinin, habelə yolun dayanıqlığının dəyişmə əmsalının müəyyən edilməsi üçün metod işlənib hazırlanmışdır.

Calaqsız yolların avtomatlaşdırılmış dioqnostikasına və monitorinqinə aşağıdakılar təqdim olunur:

- yük qatarlarının istifadə etməklə rels bağlayıcılarının vəziyyətinin avtomatlaşdırılmış şəkildə təyini olunması üsulu;

- aralıq calaqsız rels bağlayıcılarının buraxıla bilən maksimum deformasiyalarının müəyyən edilməsinə əsaslanan calaqsız yolun yan təsir olan dayanıqlığının təyin olunması üsulu (*Михайлов, А.Ф., Частоедов, Л.А. (1987)*).

İş nəticələrinin sınaqdan keçirilməsi, həyata keçirilməsi :

Aparılan işlərin nəticələri yenilənmiş rels təmir sxemlərinin tətbiqi və dəmir yoluna texniki xidmət tezliyinin dəyişdirilməsi baxımından calaqsız dəmir yolunun cari təmiri, yenidən qurulması (müasirləşdirilməsi) və təmiri üçün texniki şərtlər haqqında təlimatların ərsiyə gəlməsində istifadə edilmişdir. Aralıq rels bağlayıcılarının təzyiqinin zəifləməsindən asılı olaraq 3-cü sinif və ondan aşağı olan yol konstruksiyaları keçən tonaj, habelə yük qatarı tərəfindən relsaltı əsasın deformasiyaya məruz qalmasının qiymətləndirilməsi üçün təlimat işlənilib hazırlanmalıdır.

Qüsurlu və zəifləmiş aralıq rels bərkitmələrini müəyyən etmək üçün hazırlanmış alqoritmlər istehsalçı tərəfindən SPM-18 yük kompleksinin ölçü sistemində istifadə edilmişdir.

## **2.2. Stabilliyin təyini üçün analitik üsullar və onların təhlili**

Bu üsul ilk dəfə 1931-ci ildə alman mütəxəssisi K. Qrunewaldt tərəfindən nəşr edilmişdir. Bu üsulda tarazlıq şərti olaraq ya elementar işlərin (ümumiləşdirilmiş qüvvələrin) cəmi sıfıra bərabərdir, ya da potensial enerjinin ekstremumunun şərtidir. kritik sıxılma qüvvəsinin tapıldığı sistem (*Михайлов, А.Ф., Частоедов, Л.А. (1987)*).

Enerji hesablama metodunda istifadə olunan əsas fərziyyələr:

1) yol şərti olaraq homojen bir çubuq şəklində alınır, özünəməxsus əyilmə müqaviməti  $= E \cdot 2J$  (E rels poladının elastiklik moduludur, 2J şaquli oxa nisbətən 2 relsin ətalət momentidir);



2) uzununa hərəkətlərə və relslərin fırlanma deformatsiyalarına müqavimət qüvvələri relsin deformatsiya olunmuş hissəsinin uzunluğu boyunca bərabər paylanmış hesab edilir;

3) ilkin vəziyyətdə çubuq düz hesab olunur və ya ciddi şəkildə dairəvi əyri boyunca çəkilir, yəni ilkin pozuntular nəzərə alınmır.

Yolun dayanıqlığının hesablanması enerji metodunda tarazlıq şərti elementar işlərin bərabərliyindən mümkün yerdəyişmələr prinsipinə əsaslanır.

Tam işlər elementar komponentləri aşağıdakı düsturlara uyğun birləşdirməklə müəyyən edilir:

$$dA_k = dA_H + dA_B \quad (2.1)$$

$dA_k$ - ayrılıyın uclarında sıxıcı qüvvələrin elementar işi

$dA_H$  - relsin əyilmə deformatsiyasının elementar işi

$dA_B$ - “ətraf mühitin” müqavimət qüvvələrini dəf etmək üçün elementar iş.

İbtidai iş aşağıdakı düsturlarla müəyyən edilir:

$$dA_K = F \cdot d\lambda \quad (2.2)$$

$$d\lambda = (y')^2 dx \quad (2.3)$$

$$F = P - E \cdot \omega \cdot \frac{\lambda}{n \cdot l} \quad (2.4)$$

$$n \cdot l = l + 2L \quad (2.5)$$

$$dA_H = E \cdot J_{PB} \quad (2.6)$$

$$dA_B = 2 \cdot q \cdot y \cdot dx \quad (2.7)$$

P – pletdə uzununa temperatur qüvvəsi;

F - ayrılıyın uclarında kirpikdə uzununa qüvvə (əyilmə zamanı uzanma nəticəsində gərginliyin azaldılması nəzərə alınmaqla);

E - rels poladının elastiklik modulu;

$\omega$  - relslərin kəsişmə sahəsi;

$J_{PB}$  - şaquli oxa nisbətən 2 relsin ətalət anı;  
 $l_0$  - qamçının əyri hissəsinin akkordunun uzunluğu;  
 $l_1$  - qamçının əyri hissəsinin uzunluğu;  
 $\lambda = (l_0 - l_1)$  - deformasiya zamanı çubuğun uzanması;  
 $L$  - çubuğun deformasiya olunan düz hissələrinin uzunluğu;  
 $q$  - paylanmış kəsmə müqaviməti;  
 $m_0$  - bir bərkitmə dəstinin müqavimətinin reaktiv momenti;  
 $e$  - şpallar arasındakı məsafə (şpalların oxları boyunca);  
 $n$  - deformasiyanın baş verdiyi ümumi uzunluğun çubuğun əyri hissəsinin uzunluğuna nisbətini ifadə edən ölçüsüz əmsal;  
 $f$  - ox əyilmə əyrisi;  
 $r$  - rels və şpal şəbəkəsinin xətti kəsilmə müqaviməti;  
 $y = f(x)$  - relsin əyri oxunun funksiyasının tənliyi.

Tam işlər elementar komponentləri aşağıdakı düsturlara uyğun birləşdirməklə müəyyən edilir:

$$A_K = -P\lambda = -P \int_0^{l/2} (y')^2 dx \quad (2.8)$$

Enerji həlli üsullarında əyriliyin forması müəyyən edilir, buna görə də əyilmə zamanı çubuğun elastik xəttini təsvir edən funksiya verilir. Verilmiş əyrilik forması üçün:

$$\lambda = \eta_1 \frac{f^2}{l} \quad (2.9)$$

$$A_K = -P \eta_1 \frac{f^2}{l} \quad (2.10)$$

İstilik enerjisi çubuğun elastik əyilməsinə və ətraf mühitin müqavimət qüvvələrinin öhdəsindən gəlmək üçün işə köçürülür.

$$A_v = El \int_0^{l/2} (y')^2 dx = \eta_v \frac{ELf^2}{l^3} \quad (2.11)$$

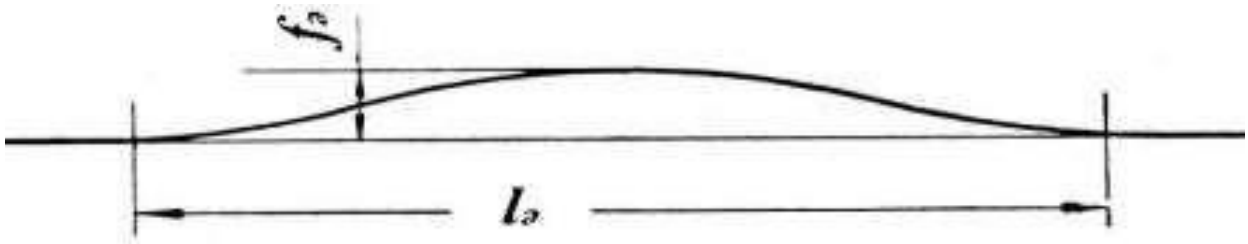
Çubuğun uzunluğu boyunca bərabər paylanmış mühitin müqavimətini aradan qaldırmaq üçün işləyin: Çubuğun əyilmə işi tənlikdən müəyyən edilir [21]:

$$A_B = 2q \int_0^{l/2} y dx = \eta_B qlf \quad (2.12)$$

Düsturlardan göründüyü kimi, ədədi həll yolun əyri oxunun qəbul edilmiş tənliyindən birbaşa asılıdır.

A. Bloch 1932-ci ildə nəşr etdiyi işində əyilmə əyrisi kimi (2.12) formalı tənliyi qəbul etmişdir.

$$y = \frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi k}{l}\right) \quad (2.13)$$



Şəkil 2.2. Əyilmə əyrisi, görünüş

$$y = \frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi k}{l}\right)$$

Son iş  $\eta$  tənliklərindəki sabitlər aşağıdakı formada olur:  $\eta_K = \pi^2/4$ ,  $\eta_H = \pi^4$ ,  $\eta_B = 1/2$ . Daha aydınlıq üçün tənliklərin həlli zamanı A. Blox qrafik-analitik üsullardan istifadə edirdi. Bununla belə, yerdəyişmiş sinusoid əyriliyin dəyişməsi baxımından real əyilmə şərtlərinə cavab vermir. Əyriliyin başlanğıcında və sonunda əyrilik kəskin şəkildə 0-dan müəyyən son qiymətə dəyişir ki, bu da çubuğun uclarının möhürlənməsinə uyğun olacaq, əslində isə bu yoxdur (Новакович, В.И. (2001)).

K.N. Mişşenko yol oxunun əyriliyinin real şərtlərinə daha tam uyğun gələn digər tənliklər tapmışdır . Beləliklə, birtərəfli əyrilik üçün o, aşağıdakı tənliyi qəbul etdi:

$$y = 0.294f \left( \cos \frac{8.985x}{l} - 8.761 \frac{x^2}{l^2} + 2.407 \right) \quad (2.14)$$

Bu əyilmə əyrisi üçün alınan sabit əmsallar aşağıdakı qiymətlərə malikdir:  $\eta_K = 2.786$ ;  $\eta_1 = 2.68$ ;  $\eta_2 = 7.18$  K.N. Mişchenko, qərəzli sinus dalğa tənliyindən istifadə edildikdən 5% daha az kritik qüvvənin nəticələrini verdi.

Üfüqi müstəvidə ikitərəfli yolun buraxılması üçün dizayn tənliklərini tapmaq üçün K.N. Mişchenko, əvvəllər istifadə edilən əyrilərdən fərqli olaraq, komponent əyrilərinin başlanğıcında, sonunda və birləşmə nöqtələrində əyrilikdə sıçrayışlara malik olmayan kompozit S formalı əyri təklif etdi. Bu əyrinin uzunluqda ilkin və son hissələri  $\frac{17}{54} l$  tənlik(2.14) , uzunluq üzrə orta hissə,  $\frac{10}{27} l$  tənlik (2.15) ilə müəyyən edilir.

$$y = f \sin \frac{\pi k}{l} \quad (2.15)$$

Nəticədə əmsallar üçün aşağıdakı dəyərlər əldə edildi:

$$\eta_1 = 2.416, \eta_2 = 5.81, \eta_3 = 19.18, \eta_4 = 2.88.$$

Sonradan, davamlı axın yolunda kritik qüvvənin təyin edilməsi problemini həll etmək üçün enerji metodundan istifadə edən bir çox tədqiqatçı əyri ox tənliklərinin müxtəlif versiyalarını təklif etdi. Q. Meyer 1937-ci ildə nəşr etdiyi işində əyri yol oxu üçün aşağıdakı tənlikləri təklif etmişdir: əyri üzərində bir istiqamətdə əyilən yol üçün tənlik (2.16) formasına malikdir:

$$y = \frac{x(l-x)}{2R} - \frac{f}{2} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right) \quad (2.16)$$

Düz hissədə iki tərəfli S formalı döngə üçün düstur (2.17) ilə müəyyən edilmiş kompozit əyri istifadə olunur.

$$\begin{cases} x \in (0, \frac{l}{3}) y = \frac{f}{2} (1 - \cos \frac{3\pi k}{l}) \\ x \in (\frac{l}{3}, \frac{2}{3}l) y = -f (\cos \frac{3\pi k}{l}) \\ x \in (\frac{2}{3}l, l) y = -\frac{f}{2} (1 - \cos \frac{3\pi k}{l}) \end{cases} \quad (2.17)$$

Əyrinin (17) ordinatları çevrəni əvəz edən parabolanın  $y_1$  ordinatlarının, qövsün mərkəzi bucağının akkord  $l$  ilə kiçik olmasına görə  $R$  radiusunun və yerdəyişmiş sinusoidin  $y_2$  ordinatlarının cəmidir. Əyriliyin başlanğıcında hər iki halda əyrilikdə atlamalara icazə verilir. Kompozit əyridə birinci və ikinci törəmələrin dəyişməsində sıçrayış həm də yerdəyişmiş sinus dalğasının kosinus dalğası ilə kəsişmə nöqtələrində baş verir. Beləliklə, əyriliyin qəbul edilmiş forması yalnız ordinatların dəyişməsi baxımından real əyilmə şəraitinə uyğun gəlir. K. Grunewaldt da eyni S formalı əyridən istifadə etmişdir (*Соломонов, С.А., (1995)*).

Yapon tədqiqatçısı N. Numata 1957-ci ildə nəşr olunan əsərində təcrübələrdə müşahidə edilən bütün əyrilik formaları üçün etibarlı olan universal düstur əldə etməyi qarşısına məqsəd qoymuşdu. Deformasiya edilmiş yolun formasını xarakterizə edən aşağıdakı əyrilər nəzərə alınmışdır:

- a) birtərəfli əyrilik ilə - yerdəyişmiş sinusoid (2.13);
- b) S formalı əyrilik ilə - kompozit əyri (2.17);
- c) üç dalğalı dalğavari əyrilik ilə - (2.18) düsturla müəyyən edilmiş kompozit əyri:

$$\left\{ x \in (0, \frac{1}{4}) \text{ u } x \in (\frac{3l}{4}, l) y = -\frac{f}{4} (1 - \cos \frac{4\pi k}{l}) \right.$$

$$\left\{x \in \left(\frac{1}{4}, \frac{3l}{4}\right) y = \frac{f}{4} \left(1 + \cos \frac{4\pi k}{l}\right) \right. \quad (2.18)$$

d) dalğavari əyrilik, mürəkkəb əyri, tip (2.19)

$$\begin{aligned} \left\{x \in \left(0, \frac{1}{5}\right) y = \frac{3f}{10} \left(1 - \cos \frac{5\pi k}{l}\right) \right. \\ \left\{x \in \left(\frac{1}{5}, \frac{2}{5}l\right) y = -\frac{f}{5} \left(1 + 4 \cos \frac{5\pi k}{l}\right) \right. \\ \left\{x \in \left(\frac{2}{5}l, \frac{3l}{5}\right) y = -f \cos \frac{5\pi k}{l} \right. \\ \left\{x \in \left(\frac{3l}{5}, \frac{4l}{5}\right) y = -\frac{f}{5} \left(1 - 4 \cos \frac{5\pi k}{l}\right) \right. \\ \left. \left\{x \in \left(\frac{4l}{5}, l\right) y = -\frac{3f}{10} \left(1 + \cos \frac{5\pi k}{l}\right) \right. \right. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Bu həlldə qəbul edilən bütün kompozit əyrilər əyriliyin başlanğıcında, sonunda və əyrilərin birləşdiyi nöqtələrdə kəskin dəyişikliyə malikdir. Beləliklə, qəbul edilmiş tənliklərin əyriliyin həqiqi formasına uyğunluğu baxımından bu həllin əhəmiyyətli çatışmazlıqları var. Dairəvi əyri üzərində yolun əyilməsini nəzərdən keçirərkən, sonuncunun ordinatları yuxarıda müzakirə edilən Q.Meyer metoduna bənzər parabolun ordinatları kimi nəzərə alınır. Kritik ox və kritik qüvvəni birləşdirən son düstur (*Железнодорожные станции и узлы, (1986)*):

$$f = \frac{4\eta_1(m+1)^2 EJ(q - \eta_3 \frac{F}{R})}{F^2} \quad (2.20)$$

S.P. Perşin öz işində yolun əyri vəziyyətini təsvir edən müxtəlif əyrilərdən istifadə edərək yuxarıda göstərilən bütün üsullardan istifadə edərək kritik qüvvələrin hesablamalarını aparmışdır. Hesablama nəticələrinə görə, eyni ilkin məlumatlarla hesablamalarda əldə edilən kritik qüvvələr  $\Delta P = \pm 5\%$  bu növ hesablamaların düzgünlüyünü aşmayan bir məbləğlə fərqlənirdi.

Bununla belə, yuxarıda təsvir edilən bütün həllərin bir sıra əhəmiyyətli çatışmazlıqları var ki, bu da hesablama nəticələrini kritik qüvvənin praktiki olaraq əldə edilmiş dəyərlərindən əhəmiyyətli dərəcədə uzaqlaşdırır. Onlardan ən vacibi, yolu sabit tarazlığın ilkin vəziyyətindən çıxaran kənar qüvvə amilinin mövcudluğunun müddəsidir ki, bu, zəruridir, çünki deformasiyadan əvvəlki yol həndəsi cəhətdən düzgün kontur (ideal düz və ya əyri) hesab olunur. Bundan əlavə, mövcud həllər əyilməyə qarşı olan qüvvələrin dəyişməsinin real təbiətini - balastda şəbəkənin kəsilmə müqavimətini və aralıq bərkitmə qurğularında şpalın fırlanmasına qarşı müqavimətini nəzərə almır (*Аркатов, B.C. (1982)*).

Müəyyən edilmiş çatışmazlıqların təhlili əsasında S.P. Pershin, enerji asılılıqlarına əsaslanaraq, əyilmə müqavimət qüvvələrinin həqiqi təbiətini daha dəqiq nəzərə alan tənliklər əldə etdiyi bir temperatur gərginliyi olan davamlı qaynaqlı yolun dayanıqlığı probleminin həllinə bir yanaşma hazırladı.

S.P. Pershin göstərdi ki, onun metodundan istifadə edərək hesablama nəticələrinin yaxınlaşması və tam miqyaslı modelləşdirmənin nəticələri 5-8% fərqlənir, eyni zamanda əvvəllər müzakirə olunan metodlardan istifadə etməklə aparılan hesablamalar eksperimental məlumatlarla 100%-ə qədər fərq verir.

Enerji metodu fasiləsiz birləşmiş yolun kritik (son) tarazlıq vəziyyətini kifayət qədər dəqiq təsvir edir və davamlı birləşmə yolunun dayanıqlıq əmsalını təyin etmək, həmçinin şəbəkədən şəbəkə deformasiyalarına müqavimət üçün minimum tələb olunan parametrləri təyin etmək üçün istifadə edilə bilər.

Məsələn, boşalmanın qarşısını almaq üçün lazım olan yanal hərəkətlərə minimum qaçış müqavimətini təyin etmək üçün düsturdan istifadə edə bilərsiniz:

$$q_K = \frac{P^2 \cdot \sqrt{n}}{\eta_2 \cdot E \cdot \sqrt{J_{PB} \cdot \omega}} \quad (2.21)$$

Enerji metodunun üstünlüklərinə həllin sadəliyi və calaqsız yolun vəziyyətinin qrafik analizinin mümkünlüyü daxildir.

Bununla belə, enerji üsullarının əhəmiyyətli çatışmazlığı həllin düzgünlüyünün qəbul edilmiş əyilmə forması tənliklərinin deformasiya zamanı yolun mümkün əyriliyinin real konturuna uyğunluğundan tam asılılığıdır.

### **2.3. Calaqsız yolun dayanıqlığının hesablanması üsulları**

Yolun üst quruluşunun hər xüsusi konstruksiyası, elementləri üçün, rels şpal çərçivəsinin dayanıqlığını itirdiyi və calaqsız yolun temperatur artımının baş verdiyi fasiləsiz yolun hər iki rels bərkidicisini sıxan qüvvənin miqdarı var. Bu sıxılma qüvvəsi müəyyən bir element üçün kritik hədd adlanır (*Инструкция по сигнализации на ж/д РФ*).

Yerli elm alimləri calaqsız bir yol üçün kritik həddə çatan qüvvənin hesablanması üçün bir neçə müxtəlif üsullar təklif etdilər.

Hesablama üsulları sıxılma temperaturu qüvvəsi artdıqca yolda yığılan potensial enerjinin nəzərə alınmasına həmçinin rels-şpal çərçivəsinin qeyri-sabitləşdiyi və rels strukturları müvafiq deformasiyaları ilə sərbəst buraxıldığı miqdarı müəyyən olumasına əsaslanır. Çıxış nəticəsində əyri rels-şpal çərçivəsi onun sonrakı əyriliyinə müqavimət qüvvələri ilə deformasiyalar nəticəsində zəiləmiş rels tellərinin uzununa temperaturu sıxılma qüvvəsi arasında tarazlığa müvafiq mövqə tutur (*Тюрморезов, В.Е. (1978)*).

Bu hesablama metodlarının hamısı ilə faktiki mövqedən fərqlənən və lakin praktiki məqsədlərə görə kifayət qədər dəqiqliklə nəticə əldə olunması üçün bu və ya başqa riyazi aparatı tətbiq etməyə şərait yaradan müəyyən fərziyyələr təqdim edilir.

Hər bir hesablama üsulları üçün ümumi hipotez olaraq həqiqi yolun elastik bir çubuqla dəyişdirilməsidir. Kernel: Əsas bir elementin özəyini təşkil edir. Çubuq - struktur mexanikasında, iki ölçüsü (hündürlük və eni) üçüncü ölçü (uzunluq) ilə müqayisədə kiçik olan uzanmış bir gövdədir. Döküm nüvəsi tökmə qəlibinin ayrılma



bilən hissəsidir, tökmənin daxili və bəzən xarici səthlərini formalaşdırmaq üçün nəzərdə alınmışdır. Çubuq tökmə qəlibinin dəstəkləyici səthlərinə (işarələrinə) quraşdırılır. Onlar əsas qarışıqlardan (qum-gil, qum-yağ, özünü sərtləşdirən və s.) istehsal olunur. Doldurma ballpoint qələmin tərkib hissələrindən biridir.

Temperatur gərginliyi olan qaynaqsız bir yol, dəmir yolu nəqliyyatının mühəndis strukturları kompleksinin bir hissəsi olan mürəkkəb və potensial təhlükəli mühəndislik quruluşudur. Dəmir xəttinin temperaturu onun bərkidilmə temperaturundan yüksək olduqda, davamlı birləşmə yolu sabitlik üçün işləməyə başlayır ki, bu da mövcud texniki xidmət standartlarına əməl edilmədikdə onun atılmasına səbəb ola bilər. Boş ballastlı dəmir yolu hissələrinin partlamalara qarşı müqaviməti xüsusilə aşağıdır. Balastın boşaldılması, rels və şpal şəbəkəsinin qaldırılması və ya şpalların davamlı sıxılması ilə düzəldilməsi ilə saytda aparılan təmir nəticəsində baş verir. Təmindən sonrakı istismar dövründə trasın dalğalanmalara qarşı müqaviməti azdır, lakin stabilləşmə dövründə yolun dayanıqlığı artır. Sabitliyin normal səviyyəyə yüksəltdiyi dövrü müəyyən etmək vəzifəsi aktualdır.

Təmindən sonra yolun dayanıqlığının artması, balastın yolda qatarların dinamik təsiri altında sıxılması ilə izah olunur. Təmindən sonra yolun dayanıqlıq xüsusiyyətlərini müəyyən etmək üçün müəllif dəmir-beton şpalların yanal yükə hərəkətinin funksional asılılıqlarından istifadə etməklə MSC/Nastran proqram paketində fasiləsiz birləşmə yolu modelinin qurulmasını təklif etmişdir. Yolun sabitliyinin modelləşdirilməsi üçün zəruri olan asılılıqları müəyyən etmək üçün onları müəyyən etmək üçün təcrübələr aparılmışdır. Bu məqsədlə Şərqi Dəmiryolunda yerləşən eksperimental sahələr seçilmişdir. Seçilmiş sahələr bir-birindən hasil etdikləri tonajın miqdarına görə (brüt 0, 5, 50, 120 milyon ton), şpallar, ballastlar və bərkidicilər isə eyni tipdə idi. Bu bölmələrdə, Rusiya Dəmir Yolları ASC-nin filialı olan VSZhD yol xidməti tərəfindən təsdiq edilmiş metodologiyaya uyğun olaraq, dəmir-beton şpalların hərəkətinin yanal yükün təsirindən funksional asılılığını müəyyən etmək üçün eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Təcrübələr və məlumatların sonrakı statistik

işlənməsi nəticəsində Şəkil 1, 2, 3 və 4-də göstərilən asılılıqlar əldə edilmişdir (Фельдман, А.Б., Частоедо, в Л.А. (1986)..

Şəkil 1-də təqdim olunan asılılığın yaxınlaşma funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

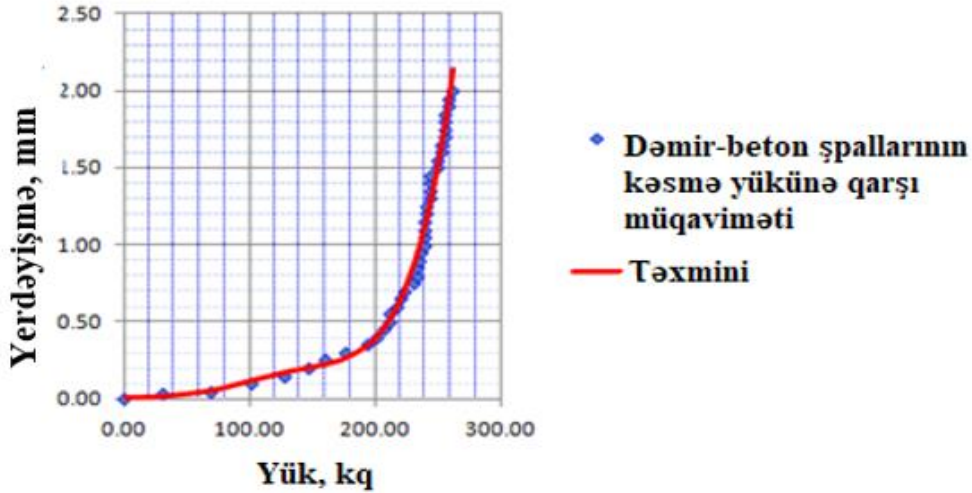
Şəkil 1-də təqdim olunan asılılığın yaxınlaşma funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

$$f(x) = p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x^1 + p6 \cdot x \quad (2.22)$$

burada x yükün dəyəridir;  $p1 = 1,587e-011$ ;

$p2 = -6,904e-009$ ;  $p3 = 9,939e-007$ ;

$p4 = -4,459e-005$ ;  $p5 = 0,000924$ ;  $p6 = 0,005837$ .



**Şəkil 2.3 Dəmir-beton şpalların hərəkətinin təsir edən yanal qüvvədən asılılığı, 0 mln.**

Şəkil 2.3-də göstərilən asılılığın yaxınlaşma funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

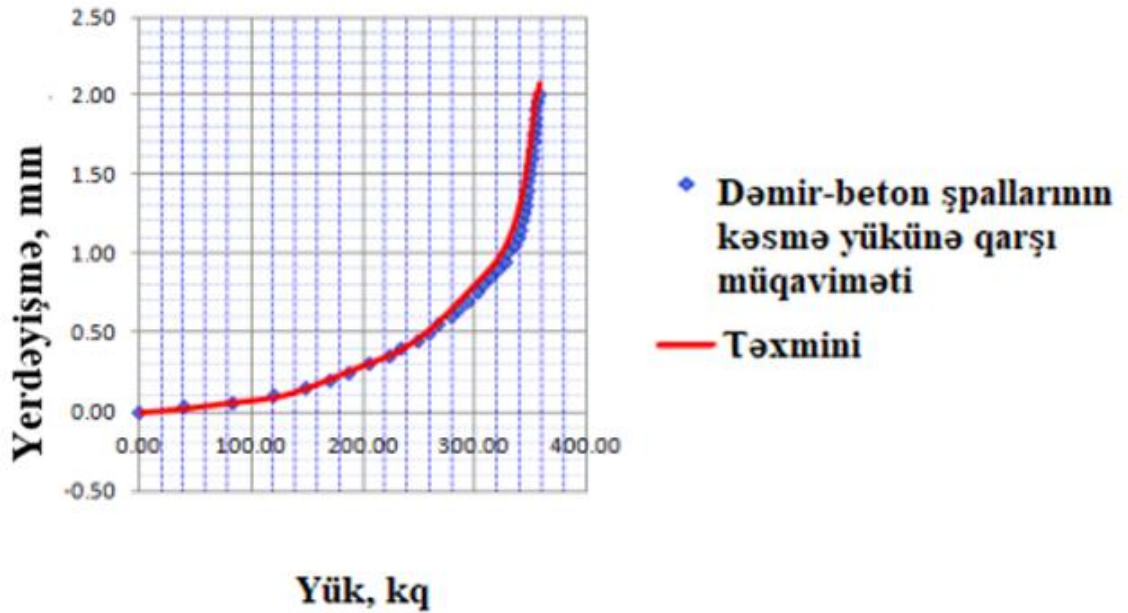
$$f(x) = p1 \cdot x^5 + p2 \cdot x^4 + p3 \cdot x^3 + p4 \cdot x^2 + p5 \cdot x^1 + p6 \cdot x + p7 \quad (2.23)$$

burada x yükün dəyəridir;  $p1 = 1,32E-13$ ;  $p2 = -1E-10$ ;  $p3 = 2,95E-08$ ;  $p4 = -3,9E-06$ ;  $p5 = 0,00023$ ;  $p6 = 0,00419$ ;  $p7 = 0,00768$ .

2.3-cü şəkildə təqdim olunan asılılığın yaxınlaşma funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

$$f(x) = p1 \cdot x^9 + p2 \cdot x^8 + p3 \cdot x^7 + p4 \cdot x^6 + p5 \cdot x^5 + p6 \cdot x^4 + p7 \cdot x^3 + p8 \cdot x^2 + p9 \cdot x^1 + p10 \quad (2.24)$$

burada x yükün dəyəridir;  $p1 = 8,6e-022$ ;  $p2 = -1,834e-018$ ;  $p3 = 1,625e-015$ ;  $p4 = -7,746e-013$ ;  $p5 = 2,151e-010$ ;  $p6 = -3,522e-008$ ;  $p7 = 3,271e-006$ ;  $p8 = -0,0001524$ ;  $p9 = 0,003296$ ;  $p10 = -0,002377$

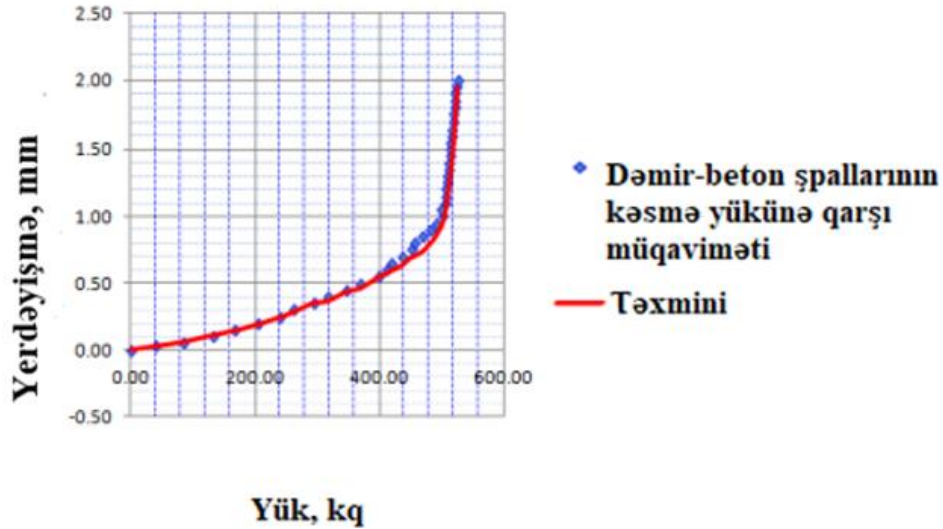


**Şəkil 2.4. Dəmir-beton şpalların hərəkətinin təsir edən yanal qüvvədən asılılığı, brutto 50 mln.**

Şəkil 4-də göstərilən asılılığın yaxınlaşma funksiyası aşağıdakı formaya malikdir:

$$f(x) = p1 \cdot x^9 + p2 \cdot x^8 + p3 \cdot x^7 + p4 \cdot x^6 + p5 \cdot x^5 + p6 \cdot x^4 + p7 \cdot x^3 + p8 \cdot x^2 + p9 \cdot x^1 + p10 \quad (2.25)$$

burada x yükün dəyəridir;  $p_1 = 2,454E-20$ ;  $p_2 = -3,551E-17$ ;  $p_3 = 2.13E-14$ ;  
 $p_4 = -6,847E-12$ ;  $p_5 = 1,274E-09$ ;  $p_6 = -1,384E-07$ ;  $p_7 = 0,000008457$ ;  $p_8 = -$   
 $0,0002611$ ;  $p_9 = 0,003756$ ;  $p_{10} = -0,0007986$



**Şəkil 2.5. Dəmir-beton şpalların hərəkətinin təsir edən yanal qüvvədən asılılığı, ümumi 120 mln.**

Müxtəlif atılan tonajlı rels hissələrində calaqsız yolun dayanıqlığının modelləşdirilməsini həyata keçirmək üçün relsaltı özüllərin müxtəlif müqavimət funksiyalarına malik müvafiq modellər qurulmuşdur.

Modelləri qurarkən, eninə yük üçün dəmir-beton şpalların orta müqavimət qiymətlərindən əldə edilən təxmini asılılıqlardan istifadə edilmişdir. Müxtəlif skip tonajlı yol hissələrində dayanıqlığı təhlil etmək üçün yaradılmış davamlı yol modelləri O.A. Suslov metodu ([www.etsrf.ru](http://www.etsrf.ru)).

Davamlı yol modeli aşağıdakı fərziyyələr seriyası ilə yaradılmışdır:

1. Dəmir yolu, relslər üçün GOST-a (GOST R51685-2000) uyğun olan P65 relslərinin hündəsi ölçüləri ilə kəsikli bir şüa şəklində təqdim olunur.
2. Döngələrdə şpallar radial şəkildə yerləşir.
3. Bucaq deformasiyalarının asılılığı xətti asılılıq şəklində alınır və bərkidici qurğunun üstündəki kəsikdə relsin fırlanma bucağının ( $\beta$ , rad) və sərtliyin məhsuludur.

4. Transvers hərəkətlərə müqavimət qüvvələri eksperimental olaraq müəyyən edilir və ərazidən keçən tonajdan asılı olaraq müxtəlif qiymətlərə malikdir.

5. Simulyasiya edilmiş sahə hər iki tərəfdən möhürlərlə sərt şəkildə sıxışdırılır.

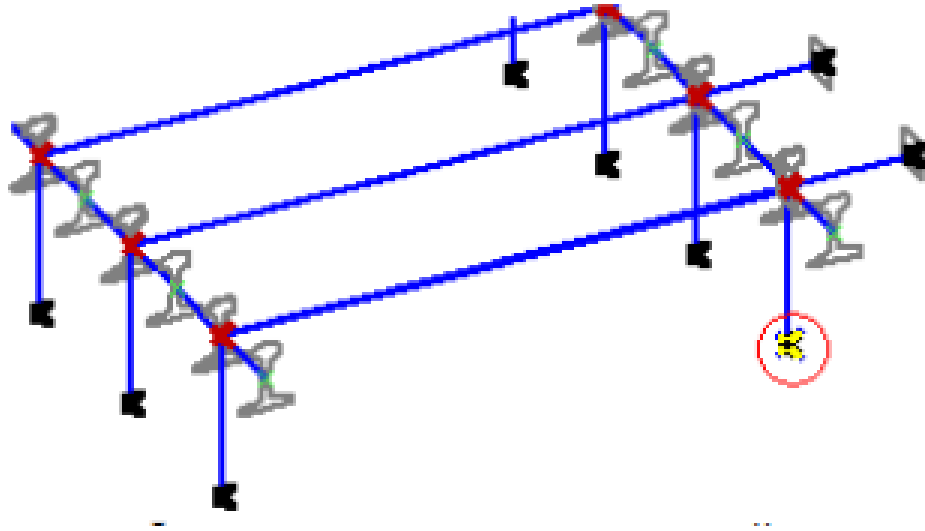
6. Modelin uzunluğunun 100 m olduğu qəbul edilir ki, bu da müşahidə edilən emissiyaların uzunluğunu üstələyir və son hissələrin hesablama nəticəsinə təsirinin qarşısını alır.

TU-2000 - ə görə, uzunluğu 10 m-dən çox olan hər iki rels yivləri baxımından rels ayrılıqlarının davamlı yolda görünməsi partlayışın mümkün başlanğıcı kimi qəbul edilməlidir. Bunu rəhbər tutaraq, fasiləsiz yolun modelləşdirilməsi bölmələrindən əldə edilən məlumatları təhlil edərkən dayanıqlığın itirilməsi hər iki rels xəttinin 10 mm-dən çox yerdəyişməsi hesab edilmişdir.

Calaqsız yolun dayanıqlığını qiymətləndirmək üçün aşağıdakı radius qiymətlərinə malik olan 2 calaqsız yolun modeli yaradılmışdır: 300, 800. Təbii ki, fasiləsiz yolun elementar modeli Şəkildə göstərilən formaya malikdir.

Keçən müxtəlif tonajlı hissələrdə davamlı fasiləsiz yolun dayanıqlığının modelləşdirilməsinin nəticəsi

Calaqsız yolun dayanıqlığının modelləşdirilməsi nəticəsində yolun dayanıqlığını itirdiyi temperatur dəyərləri əldə edilmişdir. Dayanıqlığın itirilməsi hər iki rels ipinin 10 mm-dən çox yerdəyişməsi hesab olunurdu.



**Şəkil 2.6. Calaqsız yolun sonlu element modelinin fraqmenti**

Davamlı-qovuşmuş yolun dayanıqlığının modelləşdirilməsi yolu ilə əldə edilən məlumatların statistik emalı nəticəsində relslərin dayanıqlığının kəsiklər üzrə toplanmış tonajdan asılılığının qrafikləri qurulmuşdur.

1. Dəmiraltı dayaqların yanal yüklərə müxtəlif müqavimətlərini təyin etmək imkanı ilə calaqsız yol hissələrinin modelləri yaradılmışdır.

2. Eksperimental tədqiqatlar apararaq, yan yükün təsiri altında dəmir-beton şpalların müqavimətinə dair məlumatlar əldə edilmişdir.

3. Verilənlərin statistik emalı nəticəsində müvafiq asılılıqlar və onların yaxınlaşma funksiyaları alınmış, sonradan davamlı yol kəsiklərinin modellərinin yaradılması üçün istifadə edilmişdir.

4. Keçid tonajının müxtəlif qiymətləri olan hissələrdə kəsilməyən yolun dayanıqlığının modelləşdirilməsi nəticəsində məlum olmuşdur ki, ötürmə tonajının ümumi 0-dan 120 milyon tona qədər artması ilə fasiləsiz yolun dayanıqlığı radiusu 350 və 800 m olan döngələrdə müvafiq olaraq 31 və 37% artır (Яковлева, Т.Г. (2001)).

### III FƏSİL. CALAQSIZ RELS-ŞPAL ÇƏRÇİVƏLƏRİNİN GƏRGİNLİKLƏRDƏN AZAD EDİLMƏ ARDICILLIĞI

#### 3.1. Calaqsız yolun güc və stabilliyə hesablanması

İstismar zamanı ətraf mühitin temperaturunun artması səbəbindən calaqsız relslərdə daxili sıxıcı gərginliklər yaranır, buna görə də dəmir yolu yolunda müəyyən qüsurlar yaranır. Standart ölçülü relslərdə yaranan daxili temperatur gərginliyi səbəbindən birləşmələr arasında yanal boşluqlar azalır. Calaqsız relslərlə, böyük uzununa ölçüləri və relslər arasındakı boşluğun azalması səbəbindən relsin bütün uzunluğu boyunca daxili kritik gərginliklər yaranır. Bu kritik gərginliklərin rels strukturuna ciddi təsir göstərdiyini nəzərə alaraq, onların hesablanması üçün müxtəlif üsullar təklif edilmişdir.

Güc şərti aşağıdakı formaya malikdir:

$$\sigma_K \cdot k_3 + \sigma_t \leq [\sigma] \quad (3.1)$$

$\sigma_K$  - vaqon təkərlərinin yükü altında əyilmə və burulma nəticəsində rels əsasının kənarlarında gərginliklər, MPa;

$k_3$  - təhlükəsizlik əmsalı (fərz etməklə = 1,3);

$\sigma_t$  - bərkidilmə zamanı onun temperaturu ilə müqayisədə relsin temperaturu azaldıqda yaranan dartılma temperatur qüvvələrinin təsirindən relsin en kəsiyində gərginlik, MPa;

$[\sigma]$  - icazə verilən gərginlik (istiliklə gücləndirilmiş y relslər üçün  $[\sigma]$  - 400 MPa, bərkidilməyən relslər üçün - 350 MPa).

Reyslərdə temperatur gərginliyi düsturla təyin edilir:

$$\sigma_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta t, \quad (3.2)$$

$\alpha$  - poladın xətti uzanma əmsalı ( $\alpha = 0,0000118$  1/deq h);

$E$ - dəmir yolu poladının elastiklik modulu ( $E = 210$  GPa =  $2,1 \times 10^5$  MPa);

$\Delta t$ - bərkitmə temperaturu ilə müqayisədə dəmir yolu temperaturunun dəyişməsidir, °C.

Dəmir yolunun möhkəmlik şərtlərinə dair bərkidilmə zamanı onun temperaturu ilə müqayisədə rels pletinin temperaturunda mümkün olan maksimum azalma:

$$[\Delta t_n] = \frac{[\sigma] - k_{\Pi} \sigma_k}{\alpha \cdot E} \quad (3.3)$$

Bu zaman:

VL-15 elektrovozu üçün:

$$[\Delta t_n] = \frac{[\sigma] - k_{\Pi} \sigma_k}{\alpha \cdot E} = \frac{3500 - 1,3 \cdot 1217}{25} = 77 \quad (3.4)$$

Vaqon üçün:

$$[\Delta t_n] = \frac{[\sigma] - k_{\Pi} \sigma_k}{\alpha \cdot E} = \frac{3500 - 1,3 \cdot 1242}{25} = 76^0 \quad (3.5)$$

Qəbul edirik :  $[\Delta t_n] = 76^0$  (3.6)

### 3.2. Calaqsız yolun sabitliyə hesablanması

Sabitlik şərti aşağıdakı formaya malikdir:

$$P_t \leq [P] \quad (3.7)$$

$P_t$ - bərkitmə zamanı relsin temperaturu onun temperaturu ilə müqayisədə azaldıqda baş verən temperatur qüvvəsi, kN;



$P$ - sabitlik şəraitində buraxıla bilən temperatur qüvvəsi, kN.

Bərkitmə zamanı relsin temperaturu onun temperaturu ilə müqayisədə azaldıqda meydana gələn istilik qüvvəsi belə müəyyən edilir :

$$P_t = \alpha E \Delta t \quad (3.8)$$

Sabitliyin itirilməsinə səbəb olacaq kritik temperatur qüvvəsini təyin etmək üçün  $P_k$ , kN d, biz Perşin metodundan istifadə edirik

$$P_k = \frac{A}{i^\mu} K_1 K_2 K_3 \quad (3.9)$$

$A$  və  $\mu$  - yolun üst quruluşunun tipini, xəttin planını nəzərə alan empirik əmsallar ( $A = 2807$ ,  $\mu = 0,349$  alırıq);

$i$  - üfüqi müstəvidə rels-şpal çərçivəsinin ilkin qeyri-bərabərliyinin mailliyi ( $i = e$  0,003);

$K_1 f$  – balast təbəqəsinin şpalın eninə kəsiyinə qarşı müqavimətini nəzərə alan əmsal (fərz edilir  $g = K_1 1$ );  $h$

$K_2$  – şpal diaqramını nəzərə alan əmsal (fərz etməklə  $K_2 = 1.08$ )

$K_3$  – astar və şpallar boyunca relsin hərəkətinə müqavimətin təsirini nəzərə alan əmsal ( $K_3 = 1$  qəbul edilməklə).

Sabitlik şərti ilə icazə verilən temperatur qüvvəsi kimi müəyyən edilir:

$$[P] = \frac{P_k}{k_y} \quad (3.10)$$

$K_y$ - təhlükəsizlik əmsalı (fərz etməklə  $K_y = 1,5$ )

Sonra relslərin temperaturunun onların bərkidilmə temperaturu ilə müqayisədə buraxıla bilən artımı, sıxıcı uzununa qüvvələrin təsiri altında relslərin atılmasına qarşı dayanıqlığı ilə müəyyən olunur,  $[\Delta t_y]$ , °C, və bu düsturla hesablanır

$$[\Delta t_y] = \frac{[P]}{\alpha E \cdot F''} \quad (3.11)$$

$F''$  - ümumi kəsiyi (R50 tipli relslər üçün  $F'' = 61,73 \text{ cM}^2$ )

Onda ,

$$P_k = \frac{A}{i^\mu} K_1 K_2 K_3 = \frac{2807}{3^{0,349}} \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1 = 2066,10 \quad (3.12)$$

$$[P] = \frac{P_k}{k_y} = \frac{2066,10}{1,5} = 1377,40 \quad (3.13)$$

$$[\Delta t_y] = \frac{[P]}{\alpha E \cdot F''} = \frac{1377,40}{2 \cdot 25 \cdot 61,73} = 45^0 C \quad (3.14)$$

### 3.3. Calaqsız yolun iş rejiminin təyini

Müəyyən şəraitdə calaqsız yolun çəkilməsi imkanı verilmiş şərait üçün icazə verilən temperatur amplitüdünü  $[T]$  müəyyən bir sahədə yəni hər hansısa bir planda tutulmuş ərazidə faktiki müşahidə olunan temperatur dalğalanmalarının amplitudası ilə müqayisə olunmaqla təyin edilir.  $T_A$ .

Göstərilən bu şərt  $T_A \leq [T]$  ödəndikdən sonar calaqsız yol artıq tikintisinə icazə verilə bilər.

$T_A$  dəyəri müəyyən bir ərazidə müşahidə edilən maksimum temperatur  $t_{\max}$  və minimum temperature  $t_{\min}$  rels temperaturları arasındakı cəbri fərq kimi müəyyən edilir:

$$T_A = t_{\max} - t_{\min} \quad (3.15)$$

Dəmir yolu temperaturunda buraxıla bilən dəyişikliklərin amplitudası:

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_{II}] - [\Delta t_3] \quad (3.16)$$

$[\Delta t_y]$ -sıxıcı uzununa qüvvələrin təsiri altında relslərin atılmasına qarşı dayanıqlığı ilə müəyyən olunan bərkidilmə temperaturu ilə müqayisədə relslərin temperaturunun icazə verilən artımı;

$[\Delta t_{\Pi}]$ -dartılma uzununa qüvvələrinin təsiri altında onların gücü ilə müəyyən edilən bərkidilmə temperaturu ilə müqayisədə rels pletlərinin temperaturunun icazə verilən azalması;

$[\Delta t_3]$ -pletlərin sabitləndiyi minimum temperatur diapazonu; tədqiqatlar və bir sıra hesablamalar üçün iş şərtlərinə görə, adətən  $10^\circ \text{C}$ -ə çatır ki, amma zəruri və qaçılmaz hallarda, payızda, buludlu havada, səhər saatlarında rels pletlərini bağlamaq planlaşdırılırsa, temperaturu  $5^\circ \text{C}$ -ə qədər salına bilər. Səhər və yaxud axşam saatlarında, bərkitmə prosedurunda relslərin temperaturu tədricən dəyişdikdə və ya pletlərin məcburi vasitələrdən (uzanma cihazları, qızdırıcı qurğular) istifadə edərək temperatur diapazonuna daxil edilməsi planlaşdırılır ([http://www.rusnauka.com/15.PNR\\_2007/Tecnic/21946.doc.htm](http://www.rusnauka.com/15.PNR_2007/Tecnic/21946.doc.htm)).

Verilmiş iqlim şəraitində relslərin maksimum temperaturu (xəttin keçdiyi ərazi).  $t_{\max \max} = +57^\circ \text{C}$  minimum  $t_{\min \min} = -45^\circ \text{C}$  ən böyük temperatur amplitudası  $T_A = 107^\circ \text{C}$ .

Bu halda,

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_{\Pi}] - [\Delta t_3] = 45 + 76 - 10 = 111^\circ \text{C} \quad (3.17)$$

Çünki  $T_A < [T]$  sonra, bu şərtlər altında mövsümi xarakterli gərginlik atqıları olmadan calaqsız bir yolun çəkilməsi mümkündür.

Cədvəl 3.1

#### Yolun üst quruluşunun layihə xarakteristikası.

Xarakterik ad	Vahidlər	Böyüklük
1. Dəmir yolu növü	-	P50
2. Azaldılmış dəmir yolu aşınması	<i>mm</i>	6
3. Yataq materialı	-	dəmir-beton
4. Şpalların diaqramı	<i>şt/km</i>	2000

5. Dəmiraltı əsasın elastiklik modulu ( $U$ ): - yay - qış	$kq/sm^2$	1670 2670
6. Dəmir yolu əsasının və relsin nisbi sərtlik əmsalı ( $k$ ): - yay - -qış	$sm^{-1}$	0,01820 0,01992
7. Şpal oxları arasındakı məsafə ( $l_{III}$ )	$sm$	51
8. Relslər və şpallar, ballast növü, yol kütlələri və qarşılıqlı təsirdə iştirak edən təkərlər kimi dinamik yol qeyri-bərabərliyinin formalaşmasına təsirini nəzərə alan əmsal. ( $L$ )	-	0,300
9. Rels dabandakı ən uzaq şəbəkəyə nisbətən relsin müqavimət anı ( $W_6$ )	$sm^3$	273
10. Təkərin yayınlanmamış kütləsinin və qarşılıqlı təsirdə iştirak edən yolun kütləsinin nisbətini nəzərə alan əmsal ( $\alpha_0$ )	-	0,403
11. Astar sahəsi ( $\omega$ )	$sm^2$	518
12. Bükülmə nəzərə alınmaqla yarım yataq sahəsi ( $\Omega_\alpha$ )	$sm^2$	3092

## NƏTİCƏ

“Calaqsız yolun bərkidicilərinin avtomatlaşdırılmış diaqnostikasının aparılmasının tədqiqi” mövzusunda hazırlanmış dissertasiya işində aşağıdakı nəticələr əldə olundu:

1. Calaqsız yolun təhlükəsiz istismarı və onun texniki iqtisadi səmərəliliyi yolun konstruksiyasına, qoyulmasına, təmirinə və saxlanılmasına olan tələblərlə yanaşaraq hətta yol işlərinin hazırlığından, o cümlədən mühəndisliklərin hazırlıq səviyyəsindən asılıdır.
2. Yolun eni, relslərin səviyyə üzrə vəziyyəti, relsli maillik normaya və normadan kənara çıxma qiymətlərinə görə maneəli yoldan fərqlənmirlər, calaqsız yolun saxlanılma normalarından kənara çıxmalar da maneəli yolda olduğu kimidir. Plan və profil elementlərini birləşməsində də fərq yoxdur. Yeganə məhdudiyyət calaqsız yolun 300m-dən az radiuslu əyriyə qoyulmamasıdır. Bu məhdudiyyət calaqsız yolun dayanıqlığının təmin olunma tələbi ilə bağlıdır. Bu tələb hətta 300m-dən az radiuslu əyriyə relslərarası məsafənin artması və onun dəmir-beton şpallar üçün mümkünsüzlüyü ilə də bağlıdır.
3. İstismar prosesində calaqsız rels pletlərində uzununa qüvvələrə nəzarət aparmağa imkan verən sadə və etibarlı alət bu günədək mövcud deyil. Pletlərin gərgin vəziyyətinə nəzarətin yeganə və sadə vasitəsi - eninə qapama (stvor) və ya «mayak» şpalları üzrə nəzarət-kəsiklər arasındakı uzununa deformasiyaların ölçülməsidir.
4. Neytral temperatura nisbətən temperaturun yüksəlməsi ilə pletlərdə yaranan sıxıcı temperatur qüvvələri yolun dayanıqlığını pozmamalıdır. Məlum iqlim şəraitində relslərdə temperaturun ən yüksək həddində yolun adi istismarında və yol işlərinin görülməsində yolun atılmasının qarşısının alınması calaqsız yolun tətbiqinə imkan verən başlıca tələbdir;

5. Calaqsız yolun xarici təsirlərə lazımı müqavimət göstərə bilməsi rels bağlayıcıların, relsaltı dayaqaların və ballast qatının konstruksiyaları, ölçüləri və keyfiyyət göstəriciləri ilə təmin edilməlidir;
6. Calaqsız yolun rels pletləri il ərzində mümkün olan ən 2 yüksək temperatur dəyişməsi və qatar yükündən düşən təsirlərə davamlılıq üçün lazımı qədər möhkəmlilik ehtiyatına malik olmalıdırlar;
7. Tədqiqat və istismarı təcrübəsi əsasında calaqsız yolun aşağıdakı üstünlüklərini aşkar etmişdir:
  - a. qatar hərəkətinə əsas xüsusi müqavimətin azalması və bununla bağlı yolun hər km-nə il ərzində 7000kVt-dək elektrik enerjisinə və ya 4,0t-dək dizel yanacağına qənaət;
  - b. yolun üst quruluşunun xidmət müddətinin uzadılması belə ki, calaqlar rels pletlərinin defektlərə (kontakt yoğunluq və calaqlarda) görə sıradan çıxmaları manqalı yola nisbətən 1,8-2,0 daha, tənzimləyici aşırımı nəzərə almaqla 3+4 dəfə az baş verir.
  - c. yolun düzləndirilməsi üzrə işlər (25:30) %-dək azalır;
  - d. əyriyədə xarici relsin yan yeyilməsinin manqalı yola nisbətən 1,5:1,6 dəfə azalır;
  - e. kömür-filiz marşrutlarında qırmadaşın təmizlənməsinə tələbat 1,5:2,0 dəfə azalır;
  - f. hər km-də 4,5t-dək calaq bağlayıcılarına metal sərfi azalır;
  - g. sənişinlərin gediş rahatlığı yaxşılaşır;
  - h. avtobloklama sahələrində rels dövrəsinin işləmə etibarlılığı yüksəlir;
  - i. körpü aşırımı elementlərində dinamiki gərginliyin azalması ilə körpü birləşmələrində dağılma və cari saxlanılma xərcləri azalır;
  - j. tunellərdə (xüsusən uzun tunellərdə) rels oturacağı və aralıq bağlayıcılarında elektrokimyəvi korroziya azalır.

## İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

- Azərbaycan Dövlət Dəmir Yolu, Texniki İstismar Qaydaları, (2000). Bakı, , -256 səh.*
- Əhmədov, H.M. (2010). Dəmiryol nəqliyyatının istismarı. Bakı, s. 362-366.*
- Əhmədov, H.M. (2005). Qatarların dinamik xüsusiyyətlərinə təsiri. Bakı, AzTU, 146s.*
- Əhmədov, H.M., (2011). Dəmir yolunun konstrusiyası. Bakı, "Təhsil", -254s.*
- Əhmədov, H.M., Kərimov, Z.K., Cəfərov, B.C. (2006). Calıqsız dəmiryol, Bakı, AzTU.*
- Qabulzadə, A.H., (2006) Yol təsərrüfatı və stansiyaları. Bakı, "Təhsil" NPM, -388 s.*
- Məmmədov, H.Ə., (2002). Dəmiryol nəqliyyatı, Bakı, Çarşioğlu, -242s. (dərslük).*
- Urakawa, F., (2016). Improvement of accuracy of method. 125–132.*
- Андреевских, А.В., Донцов, В.К. (2000). Оборудование участка железной дороги устройствами автоматики и телемеханики.*
- Шляхтер, М.И., (1980). Аппаратура сетей связи. Справочник. Под редакцией Шляхтера М.И., М., Связь, ,440с.*
- Багуц, В.П., Ковалёв, Н.П., Костроминов, А.М. (1991), Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. М. Транспорт, 286с.*
- Валиев, Ш.К., Валиев, Р.Ш., Донцов, В.К. (2006). Эксплуатационные основы проектирования схематического плана станции. Расчет пропускной способности горловины станции, Екатеринбург.*
- Дмитриев, В.Р., Смирнова, В.И. (1983). Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Справочник., М. Транспорт, 248с.*
- Донцов, В.К. (1992). Перегонные системы автоматики и телемеханики, Екатеринбург.*

*Железнодорожные станции и узлы, (1986) /Транспорт, М.*

*Золотарский А.Ф., (1995). Железнодорожный путь на деревянных шпалах. Транспорт, -238 с.*

*Инструкция по сигнализации на ж/д РФ*

*Инструкция по техобслуживанию устройств СЦБ (ЦШ-720)*

*Додик, С.Д. (1999). Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчёт. Под редакцией С.Д. Додика и Е.И. Гальперина. М., Сов. радио, 448с.*

*Михайлов, А.Ф., Частоедов, Л.А. (1987). Электропитающие устройства и линейные сооружения автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта. М. Транспорт, 382с.*

*Моин, В.С. (1986). Стабилизированные транзисторные преобразователи. М., Энергоатомиздат, 376с.*

*Новакович, В.И., (2001). Бесстыковой путь со сверхдлинными,- 92 с.*

*Новакович, В.И. (2001). Продольные силы в бесстыковом пути. Харьков,. 117.*

*Отраслевые правила по ОТ при техобслуживании и ремонте устройств СЦБ на ж/д РФ(ЦШ-877)*

*Аркатов, В.С. (1982). Рельсовые цепи магистральных железных дорог. Справочник. Под редакцией Аркатова В.С., М.,Транспорт 360с.*

*Соломонов, С.А., (1995). Путьевые машины. Транспорт,-392с.*

*Типовая инструкция по ОТ для электромеханика и электромонтера СЦБ и связи(ЦШ-796)*

*Тюрморезов, В.Е. (1978). Источники электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. М. Транспорт, 223с.*

*Фельдман, А.Б., Частоедо, в Л.А. (1986). Электропитание устройств связи. М., Транспорт, 216с.*



*Чернишов, М.А., (1997). Устройства, содержание и ремонта, -196 с.*

*Яковлева, Т.Г. (2001). Железнодорожный путь. Транспорт, , -407с.*

[www.etsrf.ru](http://www.etsrf.ru).

[http://www.rusnauka.com/15.PNR\\_2007/Tecnic/21946.doc.htm](http://www.rusnauka.com/15.PNR_2007/Tecnic/21946.doc.htm)