



## TEMIR YO'L SHPALLARINING EKSPLOATATSION ISHONCHLILIGINI TA'MINLASHDA YUK TAQSIMOTI VA MATERIAL DEGRADATSIYASINING O'RNI

**Suyunov Dilshod Tursunbayevich.  
Ne'matov Firdavs Dilshodovich**

*Samarqand ilg'or kasb maxorat  
texnikumi maxsus fan o'qituvchisi*

Annotatsiya

Mazkur maqolada temir yo'l shpallarining ekspluatatsion ishonchliligi rels-shpal-ballast tizimi doirasida yuklarning qayta taqsimlanishi, material charchashi va tayanch sharoitining o'zgaruvchanligi nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Tadqiqotning dolzarbligi shpallarda yuzaga keladigan haqiqiy degradatsiya jarayonlari bilan amaldagi davriy texnik xizmat ko'rsatish tizimi o'rtasidagi nomuvofiqlik bilan asoslanadi, chunki mavjud yondashuvlar yuklarning notekis taqsimlanishi va konstruktiv elementlarning deformatsion xatti-harakatini yetarli darajada hisobga olmaydi. Tadqiqotning maqsadi shpallar ishonchliligi baholash va ularga texnik xizmat ko'rsatishni yuklanish, ballast bilan o'zaro ta'sir va nuqsonlarning rivojlanish mexanizmlariga asoslangan holda ilmiy jihatdan asoslashdan iborat. Metodologiya konstruktiv tahlil, degradatsiya jarayonlarini modellashtirish va ekspluatatsion kuzatuvlarni interpretatsiya qilish asosida shakllantirilgan. Tadqiqot natijalari shpallarda degradatsiya jarayoni asosan tayanch sharoitining notekisligi natijasida yuzaga keladigan lokal kuchlanishlar ortishi bilan bog'liq ekanini ko'rsatadi, bu esa materialda tezlashtirilgan charchash va mustahkamlikning pasayishiga olib keladi. Aniqlanishicha, shpallarning texnik holatini baholashda davriy ko'rikdan ko'ra real holatga asoslangan yondashuv samaraliroq bo'lib, u nosozliklarning kritik bosqichga o'tishini oldindan aniqlash imkonini beradi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi shpallarni alohida element sifatida emas, balki yuk, deformatsiya va degradatsiya jarayonlari o'zaro bog'langan dinamik tizimning tarkibiy qismi sifatida talqin etishda namoyon bo'ladi, amaliy ahamiyati esa temir yo'l yo'lining barqarorligini oshirish, xizmat muddatini uzaytirish va ekspluatatsion xavfsizlikni ta'minlash imkoniyatlari bilan belgilanadi.

**Kalit so'zlar:**

shpallar, ishonchlilik, yuk taqsimoti, charchash, degradatsiya, ballast.

**Abstract:** This study investigates the operational reliability of railway sleepers within the rail-sleeper-ballast system by focusing on load redistribution mechanisms, material fatigue accumulation, and support condition variability under repeated dynamic loading. The research problem arises from the inconsistency between actual degradation processes of sleepers and traditional time-based maintenance approaches, which fail to account for heterogeneous loading conditions and evolving structural responses. The objective of the study is to substantiate a reliability-oriented framework for evaluating and maintaining sleepers based on the interaction between mechanical stresses, ballast behavior, and progressive damage development. The methodology integrates structural analysis, degradation modeling, and interpretation of operational

observations to identify causal relationships between load concentration, deformation patterns, and failure initiation. The findings demonstrate that sleeper degradation is governed by localized stress amplification due to uneven support conditions, leading to accelerated fatigue processes and structural weakening. It is shown that condition-based assessment, rather than periodic inspection, provides a more accurate representation of sleeper performance and enables timely intervention before critical failure stages. The scientific novelty of the study lies in the conceptualization of sleeper behavior as a dynamic component within an interacting system rather than an isolated structural element. The practical significance is defined by the potential to improve track stability, extend service life, and enhance safety through optimized maintenance strategies.

**Keywords:** sleepers, railway track, load redistribution, fatigue, degradation, reliability, ballast interaction.

**Аннотация:** В статье исследуется эксплуатационная надежность железнодорожных шпал в системе «рельс–шпала–балласт» с учетом перераспределения нагрузок, накопления усталостных повреждений и изменчивости условий опирания при повторных динамических воздействиях. Актуальность исследования обусловлена несоответствием между реальными процессами деградации шпал и традиционными регламентными системами обслуживания, не учитывающими неравномерность нагрузок и изменение деформационного поведения конструкции. Цель работы заключается в обосновании подхода к оценке и обслуживанию шпал, ориентированного на надежность и основанного на анализе взаимодействия напряженного состояния, свойств балластного слоя и процессов накопления повреждений. Методологической основой исследования является интеграция структурного анализа, моделирования деградации и интерпретации эксплуатационных наблюдений. Установлено, что разрушение шпал определяется локальной концентрацией напряжений, вызванной неравномерной работой основания, что приводит к ускоренному развитию усталостных процессов и снижению несущей способности. Показано, что переход к обслуживанию по фактическому состоянию позволяет более точно оценивать работоспособность шпал и своевременно предотвращать критические повреждения. Научная новизна работы заключается в представлении шпалы как динамического элемента системы, а практическая значимость — в повышении надежности пути и эффективности эксплуатации.

**Ключевые слова:** шпалы, надежность, усталость, нагрузка, деградация, балласт.

## Kirish

Temir yo‘l ustki tuzilmasida shpallarni faqat relslarni tutib turuvchi konstruktiv element sifatida talqin qilish ularning ekspluatatsion ahamiyatini sezilarli darajada soddalashtirishga olib keladi, chunki amalda shpallar rels–shpal–ballast tizimining yuk qabul qiluvchi va uni fazoviy hamda vaqt bo‘yicha qayta taqsimlovchi asosiy funksional bo‘g‘ini sifatida ishlaydi, ya’ni ular orqali o‘q yuklamalaridan hosil bo‘ladigan statik va dinamik kuchlar ballast qatlamiga uzatiladi va aynan shu uzatish

jarayonining barqarorligi temir yo‘l yo‘lining geometrik parametrlarini saqlashda hal qiluvchi rol o‘ynaydi, ekspluatatsiya amaliyoti va kuzatuvlar shuni ko‘rsatadiki, shpallarning ishonchliligi ularning nominal mustahkamlik ko‘rsatkichlaridan ko‘ra ko‘proq yuklarning notekis taqsimlanishi, ballast bilan kontakt sharoitining o‘zgaruvchanligi va takroriy dinamik ta’sirlar ostida materialda yuzaga keladigan charchash jarayonlari bilan belgilanadi, ayniqsa temir-beton shpallarda rels osti zonasida kuchlanishlarning lokal konsentratsiyasi natijasida mikro darajadagi shikastlanishlar paydo bo‘lib, ular ekspluatatsiya davomida makro darajadagi yoriqlarga va kesimning ishlash qobiliyati pasayishiga olib keladi, yog‘och shpallarda esa bu jarayon boshqa mexanizm asosida — namlik, biologik omillar va tolali strukturaning buzilishi orqali kechadi, biroq har ikkala holatda ham asosiy sabab sifatida tayanchning bir xil bo‘lmasligi va natijada yuklarning ayrim shpallarda ortiqcha to‘planishi ajralib chiqadi, shu bilan birga ballast qatlamining zichlanishi, ifloslanishi yoki donador tarkibining o‘zgarishi shpallar ostidagi elastik muhitning xatti-harakatini o‘zgartirib, rels iplarida qo‘shimcha dinamik kuchlanishlar paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi va bu jarayon o‘z-o‘zini kuchaytiruvchi xususiyat kasb etib, degradatsiyaning tezlashuviga olib keladi, amaldagi texnik xizmat ko‘rsatish tizimida shpallarning holatini baholash ko‘pincha vizual ko‘rik va rejalashtirilgan almashtirishga asoslangan bo‘lib, bu yondashuv ichki shikastlanishlar va charchash jarayonining dastlabki bosqichlarini aniqlash imkonini bermaydi, natijada nosozliklar kritik darajaga yetgachgina aralashuv amalga oshiriladi, bu esa ekspluatatsion xavfsizlik va iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan yetarli emasligini ko‘rsatadi, shu sababli shpallarni baholash va ularga texnik xizmat ko‘rsatishda ularni alohida element sifatida emas, balki yuk, deformatsiya va material degradatsiyasi jarayonlari o‘zaro bog‘langan tizimning tarkibiy qismi sifatida ilmiy asosda o‘rganish zarurati yuzaga keladi, mazkur tadqiqot aynan shu muammoni hal etishga qaratilib, shpallar ekspluatatsion ishonchliligini yuk taqsimoti mexanizmi, ballast bilan o‘zaro ta’sir va material charchashi nuqtai nazaridan qayta talqin qilish hamda texnik xizmat ko‘rsatishni real holatga asoslangan yondashuv orqali takomillashtirishni maqsad qiladi.

#### Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Temir yo‘l shpallarining ekspluatatsion ishonchliligini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy tadqiqotlar tarixan ikki asosiy yo‘nalishda rivojlangan bo‘lib, birinchi yo‘nalishda shpallar konstruktiv element sifatida ko‘rib chiqilib, ularning mustahkamligi, material xossalari va yuk ko‘tarish qobiliyati alohida baholangan, ikkinchi yo‘nalishda esa shpallar rels–shpal–ballast tizimining tarkibiy qismi sifatida tahlil qilinib, yuklarning taqsimlanishi va deformatsion xatti-harakat bilan bog‘liq masalalar o‘rganilgan, klassik temir yo‘l muhandisligi adabiyotlarida shpallar asosan rels iplarini ma’lum masofada ushlab turuvchi va yukni ballastga uzatuvchi element sifatida talqin etilib, ularning ishlash qobiliyati material mustahkamligi va geometrik parametrlarga bog‘liq holda baholangan bo‘lsa, keyingi ilmiy ishlarda ayniqsa g‘ildirak–rels o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladigan dinamik yuklanishlar va ularning shpallar orqali uzatilish jarayoni chuqurroq tahlil qilinib, rels osti zonalarida kuchlanishlarning lokal konsentratsiyasi va ballast qatlamining elastik xususiyatlari shpallar degradatsiyasining asosiy omili sifatida ajratib ko‘rsatilgan, ayniqsa

zamonaviy tadqiqotlarda temir-beton shpallarda takroriy yuklanish natijasida charchash yoriqlarining hosil bo'lishi, ularning bosqichma-bosqich rivojlanishi va oxir-oqibat konstruktiv mustahkamlikning pasayishiga olib kelishi aniqlangan, yog'och shpallar bo'yicha olib borilgan ishlarda esa materialning anisotrop xususiyatlari, namlik ta'siri va biologik degradatsiya jarayonlari asosiy omil sifatida qayd etilgan, shu bilan birga ballast qatlaminin zichlanish darajasi, donador tarkibi va ifloslanishi shpallar ostidagi tayanch sharoitini o'zgartirib, yuklarning notekis taqsimlanishiga olib kelishi va natijada ayrim shpallarda ortiqcha yuklanish yuzaga kelishi ilmiy jihatdan asoslangan, so'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlarda esa shpallarni baholashda faqat mustahkamlik ko'rsatkichlariga emas, balki ularning ishlash jarayonida yuzaga keladigan deformatsion xatti-harakat, kontakt kuchlanishlari va charchash jarayonining dinamikasiga e'tibor qaratilishi zarurligi ta'kidlanib, texnik xizmat ko'rsatish tizimini davriy emas, balki real texnik holatga asoslangan holda tashkil etish g'oyasi ilgari surilgan; mazkur tadqiqot aynan shu ilmiy yondashuvlar asosida tashkil etilib, metodologik jihatdan shpallarni alohida konstruktiv element sifatida emas, balki rels-shpal-ballast tizimining integral qismi sifatida ko'rib chiqishga asoslandi, bunda birinchi bosqichda shpallarga ta'sir etuvchi yuklarning shakllanishi va ularning ballast orqali qayta taqsimlanishi jarayoni tizimli tahlil qilinib, yuklarning lokal konsentratsiyasi va uning materialda charchash jarayoniga ta'siri aniqlashtirildi, ikkinchi bosqichda ekspluatatsion kuzatuvlar va mavjud ilmiy ma'lumotlar asosida shpallar degradatsiyasining asosiy mexanizmlari — mikro yoriqlarning hosil bo'lishi, ularning rivojlanishi va makro shikastlanishga o'tish jarayoni — konseptual tarzda qayta tiklandi, uchinchi bosqichda esa shpallarning texnik holatini baholashda qo'llaniladigan parametrlar tizimi shakllantirilib, ular uch guruhga ajratildi: yuk va deformatsiyani tavsiflovchi parametrlar, materialning charchash holatini ifodalovchi ko'rsatkichlar hamda ballast bilan o'zaro ta'sirni aks ettiruvchi parametrlar, natijada shpallarni baholash va ularga texnik xizmat ko'rsatish tizimini faqat rejalashtirilgan almashtirish asosida emas, balki real texnik holat va degradatsiya jarayonining bosqichlarini hisobga olgan holda tashkil etish zarurligi metodologik jihatdan asoslab berildi.

#### Natijalar

O'tkazilgan tizimli va ekspluatatsion tahlillar natijalari shuni ko'rsatdiki, temir yo'l shpallarining ishonchligi alohida material mustahkamligi bilan emas, balki rels-shpal-ballast tizimida yuklarning qayta taqsimlanish xarakteri va tayanch sharoitining bir xilligi bilan belgilanadi, ya'ni shpallar ostidagi ballast qatlaminin elastik xususiyatlari turlicha bo'lgan sharoitda yuklar teng taqsimlanmay, ayrim shpallarda ortiqcha konsentratsiyalanadi, bu esa rels osti zonalarida lokal kuchlanishlarning oshishiga olib keladi va natijada materialda tezlashtirilgan charchash jarayoni boshlanadi, tahlil davomida aniqlanishicha, degradatsiya jarayoni uzluksiz va bosqichli xarakterga ega bo'lib, dastlab mikro darajadagi deformatsiyalar va yashirin yoriqlar paydo bo'ladi, keyinchalik ular takroriy yuklanishlar ta'sirida kengayib boradi va ma'lum chegaraga yetgach makro darajadagi shikastlanishlarga o'tadi, ayniqsa temir-beton shpallarda rels osti zonasida kuchlanishlarning konsentratsiyasi yuqori bo'lishi sababli yoriqlar aynan shu hududda shakllanishi kuzatildi, yog'och shpallarda esa degradatsiya jarayoni ko'proq material strukturasiining zaiflashuvi va tashqi omillar

ta'siri bilan bog'liq ekanligi aniqlandi, shuningdek ballast qatlamining zichlanish darajasi va ifloslanishi shpallar ostidagi tayanch sharoitini o'zgartirib, yo'l konstruksiyasining umumiy elastikligini buzishi va bu orqali rels iplarida qo'shimcha dinamik yuklanishlar yuzaga kelishi ilmiy jihatdan tasdiqlandi, texnik xizmat ko'rsatish tizimi tahlili shuni ko'rsatdiki, faqat davriy ko'rik va almashtirishga asoslangan yondashuv shpallarning haqiqiy texnik holatini aks ettirmaydi, aksincha diagnostik parametrlar asosida baholash degradatsiya jarayonining dastlabki bosqichlarini aniqlash va aralashuvni optimal vaqtda amalga oshirish imkonini beradi, natijada shpallarning ishlash muddati uzayishi va ekspluatatsion ishonchlilikning oshishi kuzatiladi, umumlashtirilgan holda aytganda, shpallarning degradatsiyasi tizimli xarakterga ega bo'lib, u yuk konsentratsiyasi, ballast bilan o'zaro ta'sir va material charchashi omillarining birgalikdagi ta'siri natijasida shakllanishi ilmiy asosda aniqlandi.

#### Muhokama

Olingan natijalar temir yo'l shpallarining ishlash mexanizmini an'anaviy "yukni uzatuvchi element" sifatidagi yondashuv doirasida talqin etish yetarli emasligini ko'rsatadi, chunki shpallar rels-shpal-ballast tizimida yuklarning qayta taqsimlanishida faol ishtirok etuvchi element bo'lib, ularning ekspluatatsion holati butun tizimning deformatsion xatti-harakatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi, ayniqsa aniqlangan yuk konsentratsiyasi hodisasi shpallar degradatsiyasining asosiy boshlang'ich omili sifatida qaralishi zarurligini ko'rsatadi, chunki aynan shu jarayon orqali mikro darajadagi deformatsiyalar boshlangan va keyinchalik ular makro shikastlanishlarga o'tgan, bu esa texnik xizmat ko'rsatishda alohida shikastlanishni bartaraf etish emas, balki yuk taqsimoti va tayanch sharoitini barqarorlashtirishga qaratilgan tizimli yondashuvni talab etadi, shu bilan birga ballast qatlamining holati shpallar ishonchliligini belgilovchi asosiy tashqi omil sifatida ajralib chiqadi, chunki uning zichlanishi, ifloslanishi yoki elastik xususiyatlarining o'zgarishi shpallar ostidagi kuchlanish maydonini o'zgartirib, butun yo'l konstruksiyasida qo'shimcha deformatsiyalarni yuzaga keltiradi, natijada shpallarni baholash va ularga texnik xizmat ko'rsatishda faqat ularning o'ziga xos xususiyatlarini emas, balki ular joylashgan tizimning umumiy holatini ham hisobga olish zarurligi kelib chiqadi, shuningdek natijalar shuni ko'rsatadiki, ekspluatatsion ishonchlilikni oshirish uchun texnik xizmat ko'rsatish tizimini davriy yondashuvdan holatga asoslangan yondashuvga o'tkazish zarur bo'lib, bu orqali degradatsiya jarayonini boshqarish va nosozliklarning kritik bosqichga o'tishini oldini olish mumkin, demak shpallarni ekspluatatsiyada boshqarish masalasi konstruktiv muammo emas, balki kompleks tizimli muammo sifatida qaralishi lozimligi ilmiy jihatdan asoslandi.

#### Xulosa

Mazkur tadqiqot natijalari temir yo'l shpallarining ekspluatatsion ishonchliligi alohida konstruktiv element sifatida emas, balki rels-shpal-ballast tizimida yuzaga keladigan yuklarning fazoviy va vaqt bo'yicha qayta taqsimlanishi bilan uzviy bog'liq murakkab jarayon ekanligini ko'rsatdi, ya'ni shpallarning ishlash qobiliyati ularning material xossalari bilan bir qatorda tayanch sharoitining bir xilligi, ballast qatlamining holati va takroriy dinamik yuklanishlar ta'sirida yuzaga keladigan charchash jarayonining rivojlanish tezligi bilan belgilanadi, tadqiqot davomida aniqlanishicha,

shpallarda degradatsiya jarayoni lokal kuchlanishlarning ortishi natijasida boshlanib, mikro darajadagi shikastlanishlar orqali rivojlanadi va vaqt o'tishi bilan makro shikastlanishlarga o'tadi, bu esa ekspluatatsion resursning keskin kamayishiga olib keladi, ayniqsa ballast qatlamining notekis ishlashi natijasida yuklarning ayrim shpallarda ortiqcha to'planishi ularning tezlashtirilgan ishdan chiqishiga sabab bo'lishi ilmiy jihatdan asoslandi, shuningdek amaldagi texnik xizmat ko'rsatish tizimi shpallarning real texnik holatini yetarli darajada aks ettirmasligi va nosozliklar ko'pincha rivojlangan bosqichda aniqlanishi aniqlanib, bu esa xizmat ko'rsatish samaradorligini pasaytirishi ko'rsatildi, shu bois shpallarni baholashda holatga asoslangan yondashuvni joriy etish, ya'ni yuk taqsimoti, deformatsiya darajasi va material charchashini ifodalovchi diagnostik parametrlar asosida texnik xizmat ko'rsatishni tashkil etish zarurligi asoslab berildi, natijada bunday yondashuv temir yo'l yo'lining geometrik barqarorligini saqlash, shpallar xizmat muddatini uzaytirish va ekspluatatsion xavfsizlikni oshirish imkonini berishi ilmiy xulosa sifatida shakllantirildi.

#### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Esveld, C. *Modern Railway Track*. — 2nd ed. — Delft: MRT-Productions, 2001. — pp. 75–132.
2. Knothe, K., Grassie, S.L. *Modelling of railway track and vehicle/track interaction*. — *Vehicle System Dynamics*, 1993, Vol. 22. — pp. 209–262.
3. Selig, E.T., Waters, J.M. *Track Geotechnology and Substructure Management*. — London: Thomas Telford, 1994. — pp. 145–198.
4. Zhai, W., Wang, K., Cai, C. *Fundamentals of vehicle-track coupled dynamics*. — *Vehicle System Dynamics*, 2009, Vol. 47(11). — pp. 1349–1376.
5. Kaewunruen, S., Remennikov, A.M. *Dynamic properties of railway track and its components*. — *Journal of Sound and Vibration*, 2008. — pp. 317–331.
6. AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association). *Manual for Railway Engineering*. — Lanham, USA, 2018. — Chapter 30, pp. 30-1–30-120.
7. Grassie, S.L. *Rail irregularities, corrugation and wheel-rail interaction*. — *Wear*, 2005. — pp. 122–131.
8. Indraratna, B., Salim, W., Rujikiatkamjorn, C. *Advanced Rail Geotechnology*. — London: CRC Press, 2011. — pp. 201–260.