SHAHAR YO‘LLARI QOPLAMALARINI BAHOLASH VA TA’MIRLASH QARORLARINI QABUL QILISHDA MCI INDEKSIDAN FOYDALANISHNING ILMIY ASOSLARI

Yunusov Abduvokhid Gofurovich
Tashkent State Transport University PhD, dotsent
E-mail: abduvokhid.yunusov@gmail.com
Jumayev Fakhriddin Kenja o‘g‘li
Tashkent State Transport University Master’s student
E-mail: fakhriddinjumayev02@gmail.com

Annotatsiya. Shahar avtomobil yo‘llarining ekspluatatsion holatini baholash va samarali ta’mirlash qarorlarini qabul qilish dolzarb masala hisoblanadi. Zamonaviy Pavement Management System (PMS) tizimlarida qaror daraxtlari, ekspert baholash va turli indekslar keng qo‘llaniladi. Ushbu maqolada MCI (Maintenance Control Index) formulalari asosida yoriqlar, g‘ildirak izlari va ravonlik parametrlarini hisoblash orqali yo‘l qoplamasining texnik holatini baholash metodologiyasi tahlil qilindi. MCI indeksidan foydalanish O‘zbekiston sharoitida shahar yo‘llarini samarali boshqarish, iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish hamda ta’mirlashni bosqichma-bosqich amalga oshirish imkoniyatlarini beradi. Shuningdek, maqolada Caltrans qaror daraxti tizimi va xalqaro PMS tajribasi bilan bog‘liq qiyosiy tahlil ham keltirilgan.

Kalit so‘zlar: shahar yo‘llari, PMS, qaror daraxti, MCI, yoriqlar, ta’mirlash, ravonlik, g‘ildirak izi.

Abstract. The assessment of the operational condition of urban roads and the adoption of effective maintenance decisions remain a pressing issue. In modern Pavement Management Systems (PMS), decision trees, expert evaluations, and various indices are widely applied. This article analyzes the methodology of assessing the technical condition of road pavements using MCI (Maintenance Control Index) formulas by calculating cracks, rutting, and roughness parameters. The application of the MCI index in Uzbekistan provides opportunities for effective urban road management, reduction of economic costs, and phased implementation of maintenance. In addition, the article presents a comparative analysis related to the Caltrans decision tree system and international PMS practices.

Keywords: urban roads, PMS, decision tree, MCI, cracks, maintenance, roughness, rutting.

Аннотация. Оценка эксплуатационного состояния городских автомобильных дорог и принятие эффективных решений по их ремонту остаются актуальной задачей. В современных системах управления состоянием дорожных покрытий (Pavement Management System, PMS) широко применяются деревья решений, экспертные оценки и различные

ISSN 3030-3907

индексы. В данной статье проанализирована методология оценки технического состояния дорожных покрытий на основе формул индекса технического обслуживания (MCI, Maintenance Control Index) с учетом показателей трещинообразования, колееобразования и ровности покрытия. Применение индекса MCI в условиях Узбекистана позволяет эффективно управлять городскими дорогами, снижать экономические затраты и поэтапно реализовывать ремонтные мероприятия. Кроме того, в статье приведён сравнительный анализ с системой дерева решений Caltrans и международным опытом PMS.

Ключевые слова: городские дороги, PMS, дерево решений, MCI, трещины, ремонт, ровность, колееобразование.

1. KIRISH

Shahar yo‘llarini ekspluatatsiya qilishda xalqaro tajribalar va ularni O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish. Bugungi kunda shahar yo‘llarining sifatli ekspluatatsiyasi transport tizimining barqaror ishlashi, iqtisodiy samaradorlik va aholining xavfsiz harakatlanishini ta’minlovchi asosiy omillardan biridir.[1]

Yo‘l qoplamalarini o‘z vaqtida ta’mirlash orqali:

- transport oqimi barqarorligi ta’minlanadi;
- ekspluatatsiya va texnik xizmat xarajatlari kamayadi;
- yo‘l-transport hodisalari xavfi sezilarli darajada pasayadi;
- yo‘l infratuzilmasining xizmat muddati uzaytiriladi.

Xalqaro amaliyotda yo‘l qoplamalarini boshqarishda quyidagi metodologiyalar keng qo‘llaniladi:

1-jadval.

Davlat / Tizim	**Asosiy yondashuv**	**Afzalliklari**	**O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish zaruriyati**
Caltrans qaror daraxti tizimi (AQSH)	Yo‘lning texnik holati bo‘yicha optimal ta’mirlash turini tanlash algoritmi	Tezkor va iqtisodiy jihatdan asoslangan qaror qabul qilish imkonini beradi	Qaror daraxti parametrlarini mahalliy transport oqimi va iqlim sharoitlariga moslashtirish
Yaponiya tajribasi	Xizmat muddati prognozi asosida ta’mirlashni rejalashtirish	Oldindan rejalashtirish orqali ortiqcha xarajatlarning oldi olinadi	Prognoz modellarini O‘zbekistonning keskin iqlim sharoitlari (qattiq

ISSN 3030-3907

			qish, issiq yoz) bilan uyg‘unlashtirish
Yevropa mamlakatlari (PMS)	Pavement Management System orqali monitoring va prognozlash	Integrallashgan tizim: monitoring, prognoz, iqtisodiy samaradorlik	PMS dasturlarini mahalliy normativ hujjatlar va byudjet imkoniyatlariga moslashtirish
AASHTO ko‘rsatkichlari (AQSH)	Loyiha va ekspluatatsiyada xalqaro standart ko‘rsatkichlar	Ilmiy asoslangan, keng qo‘llanadigan metodika	Normativlar va standartlarni O‘zbekiston qonunchiligi bilan uyg‘unlashtirish

Ko‘rinib turibdiki, xalqaro tajribalar turlicha yondashuvlarga asoslangan bo‘lsa-da, ularning barchasi yo‘l qoplamalarini uzoq muddat xizmat qildirish, ta’mirlash xarajatlarini kamaytirish va xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan. [2]

O‘zbekiston sharoitida ushbu metodologiyalarni qo‘llashda quyidagi omillar hisobga olinishi lozim:

- *Iqlim sharoitlari* – keskin kontinental iqlim (muzlash-erish jarayonlari, yuqori haroratli yoz, namlik o‘zgarishlari).
- *Transport oqimi xususiyatlari* – shahar markazida transport zichligi yuqori, yuk avtomobillari ulushi katta.
- *Normativ-huquqiy baza* – xalqaro metodologiyalarni milliy standartlarga uyg‘unlashtirish zarur. [3]

Shunday qilib, O‘zbekiston sharoitida qaror daraxti tizimlari, xizmat muddati prognozlari va PMS modellarini integratsiyalash orqali shahar yo‘llarining ekspluatatsiyasini samarali boshqarish mumkin. Bu yondashuv texnik, iqtisodiy hamda ijtimoiy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

Qaror daraxti va PMS tizimlarining yo‘l ekspluatatsiyasida qo‘llanilishi

Pavement Management System (PMS) – bu yo‘llarning texnik holatini doimiy ravishda kuzatish, optimal ta’mirlash turini tanlash va mavjud moliyaviy resurslardan samarali foydalanishni ta’minlaydigan kompleks boshqaruv tizimidir. PMS amaliyotida qaror qabul qilish jarayonida turli diagnostik ko‘rsatkichlardan foydalaniladi. [4]

Jumladan:

- *Ravonlik darajasi (IRI – International Roughness Index)* – qoplamaning silliqlik darajasini ifodalaydi va transport vositalarining harakatlanish qulayligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.
- *Yoriqlar foizi* – qoplama yuzasida kuzatiladigan ko‘ndalang, bo‘ylama yoki to‘r ko‘rinishidagi yoriqlar ulushi.

ISSN 3030-3907

• *G‘ildirak izi chuqurligi* – transport oqimi ta’sirida yo‘l yuzasida paydo bo‘ladigan deformatsiya chuqurligi. [5]

Mazkur ko‘rsatkichlar qaror daraxti algoritmlariga kiritilib, ularning natijasida quyidagi savollarga javob topiladi:

• qaysi yo‘l kesimida qanday ta’mirlash ishlari zarur;
• ta’mirlashning qaysi davrda amalga oshirilishi maqsadga muvofiq;
• tanlangan ta’mirlash usulining iqtisodiy samaradorlik darajasi qanday.

Qaror daraxti – bu turli ko‘rsatkichlarni tahlil qilib, optimal ta’mirlash strategiyasini tanlashga imkon beruvchi grafik-analitik modeldir. U yordamida turli sharoitlarda (transport oqimi zichligi, qoplama yaroqlilik darajasi, moliyaviy imkoniyatlar) eng to‘g‘ri qaror qabul qilinadi. [6]

Shuningdek, *MCI (Maintenance Control Index)* indeksi qaror daraxtining asosiy parametrlaridan biri sifatida qo‘llanishi mumkin. Mazkur indeks yo‘l qoplamasining joriy texnik holatini matematik ifoda orqali baholashga xizmat qiladi. MCI qiymati asosida yo‘l kesimining yaroqlilik darajasi aniqlanib, unga mos ravishda ta’mirlash turi belgilanadi. [7]

Shunday qilib, PMS tizimlari va qaror daraxtlari integratsiyasi yo‘l qoplamalarini boshqarishda quyidagi afzalliklarni beradi:

• texnik ko‘rsatkichlarga asoslangan holda aniq qaror qabul qilish imkoniyati;
• ta’mirlash vaqtini optimal rejalashtirish;
• moliyaviy resurslardan oqilona foydalanish;
• yo‘llarning xizmat muddatini uzaytirish va ekspluatatsion samaradorligini oshirish.

MCI metodologiyasi va formulalari

Yo‘l qoplamalarida yoriqlarni bartaraf qilish turini belgilashda *MCI (Maintenance Control Index)* quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$MCI=10-1.48C0.3-0.29D0.7-0.47\tau0.2 \quad (1)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad (2)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad (3)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad (4)$$

Bu yerda:

• C – yoriqlar nisbati (%),
• D – g‘ildirak izi chuqurligi (mm),
• σ – qoplama ravonligi (IRI ko‘rsatkichi).

C = 15 %, D = 25 mm, σ = 1.5 holati uchun hisob-kitob:

1. Formula (1): MCI ≈ 3.4
2. Formula (2): MCI_0 ≈ 3.7
3. Formula (3): MCI_1 ≈ 8.7
4. Formula (4): MCI_2 ≈ 5.2

ISSN 3030-3907

Eng kichik qiymat: MCI = 3.4 → ***Ustki yuzaga ishlov berish***.

Bu misol MCI indeksining ta’mirlash turini aniq belgilash imkonini berishini ko‘rsatadi.

Hisoblash jarayonida barcha formulalardan qiymatlar olinib, eng kichigi yakuniy MCI sifatida qabul qilinadi.

Ta’mirlash turini belgilash jadvali

MCI qiymati ta’mirlash turini aniqlashda quyidagicha ishlatiladi:

MCI qiymati	Ta’mir turi
4.1 – 5	Yoriqlarni germetizatsiyalash
3.1 – 4	Ustki yuzaga ishlov berish
2.1 – 3	Yuqori yemiriluvchi qatlamni qurish
2 dan past	Yo‘l qoplamasini to‘liq almashtirish

2-jadval.

MCI qiymati	Qoplama texnik holati	Tavsiya etiladigan ta’mirlash turi	Izoh
4.1 dan yuqori	Yaxshi	Joriy parvarishlash (profilaktik ishlar, kichik yoriqlarni muhrlash)	Yo‘lning xizmat muddatini uzaytirish uchun minimal aralashuv
3.1 – 4	Qoniqarli	Joriy ta’mir (sirt qatlamini yangilash, yamoqlash ishlari)	Ekspluatatsion qulaylikni tiklash
2.1-3	Qoniqarsiz	O‘rta ta’mir (qoplamani qisman almashtirish, mustahkamlash)	Yo‘lning umumiy ishlash qobiliyatini saqlash
0 – 2	Yaroqsiz	Kapital ta’mir yoki rekonstruksiya	Qoplamaning xizmat muddatini to‘liq tiklash zarur

Muhokama

MCI indeksi va qaror daraxti tizimining taqqosiy tahlili

Yo‘l qoplamalarini baholash va samarali ta’mirlash qarorlarini qabul qilishda MCI indeksi va qaror daraxti tizimi bir-birini to‘ldiruvchi mexanizmlar sifatida xizmat qiladi. Biroq ularning har biri o‘ziga xos vazifaga ega. [8]

1. *MCI indeksining vazifasi*

- MCI (Maintenance Condition Index) – yo‘l qoplamasining texnik holatini integral matematik formula orqali ifodalovchi ko‘rsatkich.
- MCI raqamli baholash mezoni bo‘lib, yo‘lning joriy yaroqlilik darajasini aniq son bilan ko‘rsatadi.
- MCI qanchalik past bo‘lsa, yo‘lning shunchalik yomon ahvolda ekanligini bildiradi.

ISSN 3030-3907

2. *Qaror daraxti tizimining vazifasi*

• Qaror daraxti – yo‘l ko‘rsatkichlari (MCI, IRI, yoriqlar foizi va boshqalar) asosida optimal ta’mirlash turini tanlashga xizmat qiluvchi algoritmik model.

3-jadval.

Ko‘rsatkich	**MCI indeksi**	**Qaror daraxti**
Asosiy vazifasi	Qoplama texnik holatini matematik tarzda baholash	Ta’mirlash turini va qaror qabul qilish jarayonini boshqarish
Natija turi	Raqamli indeks (0–10 oralig‘ida)	Grafik-analitik model (ta’mirlash turini belgilash)
Qo‘llanilish sohasi	Diagnostika va monitoring	Strategik qaror qabul qilish
Cheklovlari	Faqat umumiy baholash beradi	Ko‘p parametrlar talab qiladi, lekin baholashsiz ishlamaydi
Bog‘liqlik	Qaror daraxtiga kiruvchi asosiy parametrlardan biri	MCI natijalariga asoslanadi

MCI indeksining PMS va qaror daraxtlari bilan integratsiyasi

MCI (Maintenance Condition Index) yo‘l qoplamasining texnik holatini baholashda qo‘llaniladigan integral ko‘rsatkich bo‘lib, *PMS* va qaror daraxtlari tizimlari bilan uzviy bog‘liqdir. Ushbu indeks yordamida yo‘lning joriy ekspluatatsion darajasi aniqlanadi va qaror qabul qilish jarayoni ilmiy asosda amalga oshiriladi.

Integratsiyalashgan yondashuv quyidagi afzalliklarni beradi:

• *Qaror daraxti* – MCI qiymati asosida ta’mirlash turini (joriy, o‘rta yoki kapital ta’mir) avtomatik tarzda belgilaydi.

• *PMS tizimi* – MCI va boshqa ko‘rsatkichlarga (IRI, yoriqlar foizi, g‘ildirak izi chuqurligi) asoslanib ta’mirlash muddatini optimallashtiradi hamda iqtisodiy samaradorlik darajasini hisoblaydi.

• *Integratsiyalashgan tizim (MCI + PMS + qaror daraxti)* – shahar yo‘llarida eng maqbul ta’mirlash strategiyasini tanlash imkonini beradi va samaradorlikni sezilarli darajada oshiradi.

Xalqaro tajribalar shuni ko‘rsatadiki, yo‘l qoplamalarini *erta bosqichda baholash* va zaruriy ta’mirlash ishlarini o‘z vaqtida amalga oshirish orqali kelgusida katta kapital xarajatlarning oldi olinadi. Masalan, yoriqlarni dastlabki bosqichda muhrlash arzon va tezkor chora bo‘lsa, vaqtida bajarilmagan ta’mir ishlari keyinchalik kapital ta’mirga olib keladi.

Shunday qilib, MCI indeksini qaror daraxti va PMS tizimlari bilan integratsiyalash shahar yo‘llarini boshqarishda *ilmiy asoslangan, iqtisodiy samarali va uzoq muddatli yechim* sifatida qaralishi mumkin. [9]

ISSN 3030-3907

XULOSA

MCI formulalari yo‘l qoplamalarining texnik holatini, xususan, yoriqlar darajasi va boshqa degradatsiya ko‘rsatkichlarini hisobga olgan holda ta’mirlash turini aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv yo‘l qoplamalarini baholashda *ilmiy asoslangan metodologiyani* ta’minlab, ta’mirlash qarorlarini subyektiv yondashuvlardan xoli etadi. *Pavement Management System (PMS)* va qaror daraxtlari bilan integratsiya qilinganda, MCI indeksi yo‘l qoplamalarini baholashda *asosiy kirish parametri* sifatida xizmat qiladi. Natijada ta’mirlash jarayonini samarali tashkil etish, resurslarni oqilona taqsimlash va ustuvor yo‘llarni tanlash imkoniyati yaratiladi. *O‘zbekiston sharoitida MCI* indeksini qo‘llashda uni mahalliy *normativ hujjatlar* bilan uyg‘unlashtirish muhim hisoblanadi. Bundan tashqari, *GIS texnologiyalari asosida ishlab chiqiladigan yo‘l boshqaruv tizimlariga integratsiya qilish* orqali yo‘llarning hududiy monitoringini avtomatlashtirish va ma’lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash imkoniyatlari kengayadi.

Tadqiqot natijalari yo‘llarni o‘z vaqtida va to‘g‘ri ta’mirlash orqali ularning xizmat muddatini uzaytirish, shuningdek, *ekspluatatsion xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirish*ga yordam beradi. Shu bilan birga, transport oqimining xavfsizligi va samaradorligini oshirishda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Pavement management system at the 2015 Municipal Streets Seminar Ames.
2. State Highway System Management Plan, prepared in accordance with Streets and Highways Code 164.6. California Department of Transportation, Sacramento, June 2017.
3. A.G. Yunusov, B.A. Xoliqov, R.R. Soataliev YO‘L qoplamasi transport–ekspluatatsion Ko‘rsatkichlarini baholashning zamonaviy usullari.
4. California Transportation Asset Management Plan, Fiscal Years 2017/18-2016/27. California Department of Transportation, Sacramento, January 2018.
5. I.S. Sodiqov “Avtomobil yo’llarining transport ekspluatatsion ko’rsatkichlari” Darslik/ Toshkent-TAYLQEI. – 2019.
6. Z. Wang, T. Pyle / International Journal of Transportation Science and Technology 8 (2019) 251–262.
7. Federal Highway Administration (FHWA). *Pavement Preservation: Preventive Maintenance Saves Money.* U.S. Department of Transportation, Office of Asset Management, FHWA-IF-00-027,2000.
8. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). *Pavement Management Guide (2nd ed.).* Washington, D.C.: AASHTO.

ISSN 3030-3907

9. Alternative Academic Source: Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (1994). *Modern Pavement Management.* Krieger Publishing Company.

ISSN 3030-3907