KONTEKSTGA BOG‘LIQ VEKTORLASHTIRISH VA KONVOLYUTSION NEYRON TARMOQQA ASOSLANGAN MATNLI AXBOROTLARNI TASNIFLASH MODELI

Muxamediyeva Dilnoz Tulkunovna[1], Mamatov Abduvali Abduvohid o‘g‘li[2]

[1]«Toshkent irrigatsiya va qishloq xo’jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» milliy tadqiqot universiteti
[2]Namangan davlat universiteti
email: dilnoz134@rambler.ru

K E Y W O R D S

Matnlarni tasniflash, chuqur o‘rganish, oldindan tayyorlangan til modeli, e’tibor mexanizmi, belgilarni birlashtirish, mazmuniy tahlil

A B S T R A C T

Mazkur ishda qisqa hajmdagi matnli axborotlarni avtomatik tasniflash masalasi ko‘rib chiqilgan. Zamonaviy axborot tizimlarida qisqa matnlar hajmining keskin ortishi ularni samarali va aniqlik bilan qayta ishlashni talab etadi. An’anaviy statistik usullar matndagi chuqur mazmuniy bog‘lanishlarni to‘liq ifodalay olmasligi sababli, ushbu ishda statistik va mazmuniy belgilarni birgalikda hisobga oluvchi yangi yondashuv taklif etiladi. Ushbu tadqiqotda transformer asosidagi kontekstga bog‘liq til modeli, konvolyutsion neyron tarmoq va ikki yo‘nalishli eshiklangan rekurrent neyron tarmoqqa asoslangan integratsiyalashgan BERT–CNN–BiGRU modeli taklif etiladi.Taklif etilgan model oldindan tayyorlangan til modeli yordamida matndagi so‘zlarning kontekstga bog‘liq vektor ifodalarini hosil qiladi. Statistik belgi sifatida so‘zlarning muhimlik darajasini ifodalovchi og‘irliklangan e’tibor mexanizmi qo‘llaniladi. Mahalliy mazmuniy belgilar ketma-ketlikdagi yaqin so‘zlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash orqali olinadi, umumiy mazmuniy belgilar esa matn bo‘ylab uzoq masofali bog‘lanishlarni o‘rganish orqali shakllantiriladi. Ushbu belgilar birlashtirilib, yakuniy tasniflash amalga oshiriladi. Tajribaviy natijalar taklif etilgan yondashuv qisqa matnlarni tasniflashda yuqori aniqlik va barqarorlikka ega ekanligini ko‘rsatadi.

1.Kirish. So‘nggi yillarda raqamli axborot hajmining keskin oshishi natijasida matnli ma’lumotlarni avtomatik tahlil qilish va tasniflash masalasi dolzarb ilmiy muammolardan biriga aylandi. Xususan, ijtimoiy tarmoqlar, axborot portallari, aqlli qurilmalar va turli monitoring tizimlarida hosil bo‘layotgan qisqa hajmdagi matnli axborotlar tezkor va aniq tahlilni talab qiladi. Bunday matnlar ko‘pincha kontekstga boy bo‘lib, ularning mazmunini to‘g‘ri aniqlash murakkab vazifa hisoblanadi. An’anaviy statistik yondashuvlar, jumladan so‘zlar chastotasiga asoslangan usullar, matndagi umumiy mazmuniy bog‘lanishlarni yetarli darajada aks ettira olmaydi. Ushbu usullar so‘zlarning matndagi o‘rni va kontekstga bog‘liqligini hisobga olmasligi sababli tasniflash aniqligi cheklangan bo‘ladi. Shu sababli, so‘nggi paytlarda chuqur o‘rganishga asoslangan yondashuvlar matnlarni qayta ishlash sohasida keng qo‘llanila boshladi [1-3].

Chuqur o‘rganish modellarining muhim afzalliklaridan biri matndagi murakkab va yashirin bog‘lanishlarni avtomatik tarzda aniqlash imkoniyatidir. Oldindan tayyorlangan til modellari so‘zlarning kontekstga bog‘liq ifodalarini hosil qilib, ularning turli vaziyatlardagi ma’nolarini aniqroq ifodalashga xizmat qiladi. Biroq faqat mazmuniy belgilar bilan cheklanib qolish ayrim hollarda statistik muhimlikni yetarli darajada hisobga olmaslikka olib keladi [4-7].

Shu munosabat bilan, ushbu ishda statistik va mazmuniy belgilarni birlashtirgan holda qisqa matnlarni tasniflashga mo‘ljallangan yangi model taklif etiladi. Modelda matndan olingan statistik belgilar e’tibor mexanizmi orqali og‘irliklanadi, mahalliy va umumiy mazmuniy belgilar esa alohida chuqur o‘rganish tuzilmalari yordamida shakllantiriladi. Ushbu belgilarni birlashtirish orqali tasniflashning aniqligi va barqarorligini oshirishga erishiladi. Mazkur tadqiqot natijalari matnli axborotlarni avtomatik tahlil qilish tizimlarini takomillashtirishda, xususan aqlli axborot tizimlari va monitoring platformalarida samarali qo‘llanilishi mumkin [8-10].

(cc) BY

Hozirgi kunda raqamli axborot manbalarining jadal rivojlanishi natijasida qisqa hajmdagi matnli ma’lumotlar hajmi keskin ortib bormoqda. Bunday ma’lumotlar turli axborot tizimlarida, xususan monitoring, tahlil va boshqaruv jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Qisqa matnlar ko‘pincha cheklangan hajmga ega bo‘lib, ularda mazmuniy bog‘lanishlar ochiq ifodalanmagan bo‘ladi. Shu sababli ularni avtomatik tasniflash masalasi murakkab ilmiy va amaliy muammo sifatida namoyon bo‘lmoqda. An’anaviy statistik yondashuvlar matndagi so‘zlar chastotasiga asoslanib ishlaydi va so‘zlarning kontekstga bog‘liq ma’nolarini yetarli darajada ifodalay olmaydi. Natijada qisqa matnlar uchun tasniflash aniqligi past bo‘lib qolmoqda. Zamonaviy chuqur o‘rganish yondashuvlari mazmuniy bog‘lanishlarni chuqurroq aniqlash imkonini bersa-da, faqat mazmuniy belgilar bilan cheklanib qolish ayrim hollarda muhim statistik axborotni e’tibordan chetda qoldiradi. Shu bois statistik va mazmuniy belgilarni birgalikda hisobga oluvchi yangi yondashuvlarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi. Ushbu ish aynan shu muammoni hal etishga qaratilganligi bilan dolzarbdir [11-12].

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi qisqa hajmdagi matnli axborotlarni tasniflash aniqligini oshirish maqsadida statistik va mazmuniy belgilarni birlashtirgan holda chuqur o‘rganishga asoslangan samarali tasniflash modelini ishlab chiqishdan iboratdir. Taklif etilgan model orqali matndagi so‘zlarning kontekstga bog‘liq ifodalarini, ularning muhimlik darajasini hamda mahalliy va umumiy mazmuniy bog‘lanishlarini kompleks tarzda hisobga olish ko‘zda tutiladi [13-15].

Tadqiqot maqsadiga erishish uchun bir qator ilmiy va amaliy vazifalar belgilangan. Avvalo, qisqa matnlarni avtomatik qayta ishlash va tasniflashda qo‘llaniladigan mavjud statistik va chuqur o‘rganishga asoslangan yondashuvlar tahlil qilinadi. Keyingi bosqichda matndagi so‘zlarning kontekstga bog‘liq vektor ifodalarini hosil qilish mexanizmi ishlab chiqiladi. Shuningdek, matndan statistik belgi sifatida so‘zlarning muhimlik darajasini aniqlash va mazkur belgini chuqur o‘rganish asosida olingan mazmuniy belgilar bilan uyg‘unlashtirish vazifasi amalga oshiriladi. Bundan tashqari, mahalliy va umumiy mazmuniy belgilarni alohida tuzilmalar orqali ajratib olish hamda ularni yagona tasniflash modelida birlashtirish vazifasi bajariladi. Yakunda taklif etilgan modelning samaradorligini tajribaviy ma’lumotlar asosida baholash va natijalarni tahlil qilish ko‘zda tutiladi.

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi qisqa matnlarni tasniflash jarayonida statistik va mazmuniy belgilarni chuqur o‘rganish asosida yagona modelda birlashtirish yondashuvini taklif etilishida namoyon bo‘ladi. Tadqiqotda statistik axborot so‘zlarning muhimlik darajasini ifodalovchi e’tibor mexanizmi orqali aniqlanib, mazmuniy belgilar bilan uyg‘unlashtiriladi. Mahalliy mazmuniy belgilar ketma-ketlikdagi yaqin so‘zlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash orqali olinadi, umumiy mazmuniy belgilar esa matn bo‘ylab uzoq masofali semantik bog‘lanishlarni hisobga olgan holda shakllantiriladi. Ushbu belgilarni kompleks tarzda birlashtirish orqali qisqa matnlar uchun yanada boy va aniq ifoda shakllantiriladi, bu esa tasniflash aniqligini oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, taklif etilgan model qisqa matnli axborotlarni avtomatik tasniflash talab etiladigan turli axborot tizimlarida samarali qo‘llanishi mumkin. Xususan, monitoring tizimlari, axborot xavfsizligi, texnik holatni aniqlash, matnli xabarlarni tahlil qilish va qaror qabul qilish jarayonlarida ushbu yondashuvdan foydalanish mumkin. Ishlab chiqilgan model moslashuvchan tuzilishga ega bo‘lib, turli soha ma’lumotlariga moslashtirilishi hamda mavjud axborot tizimlariga integratsiya qilinishi mumkin. Shuningdek, tadqiqot natijalari matnlarni qayta ishlash va chuqur o‘rganish sohasida olib boriladigan keyingi ilmiy izlanishlar uchun nazariy va amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

2. Metodologiya.

Taklif etilgan yondashuv qisqa hajmdagi matnli axborotlarni tasniflash uchun mo‘ljallangan bo‘lib, u ketma-ket uchta asosiy bosqichdan tashkil topadi: matnni kontekstga bog‘liq vektor ko‘rinishiga o‘tkazish, mahalliy va umumiy mazmuniy belgilarni ajratib olish hamda ushbu belgilarni birlashtirish asosida tasniflashni amalga oshirish. Modelning umumiy ishlash jarayoni ketma-ket matematik amallar orqali quyidagicha ifodalanadi.

(cc) BY

Kirish matni so‘zlar ketma-ketligi sifatida qaraladi:

$$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\},$$

bu yerda x_1 mantdagi $i-$ so‘zni, n esa matn uzunligini bildiradi. Har bir so‘z kontekstga bog‘liq holda vektor ko‘rinishiga o‘tkaziladi. Bunda har bir so‘zning ifodasi faqat uning lug‘aviy ma’nosi bilan emas, balki matndagi barcha boshqa so‘zlar bilan o‘zaro bog‘liqligi asosida shakllanadi. Natijada quyidagi yashirin holatlar ketma-ketligi hosil bo‘ladi:

$$H = \{h_1, h_2, \ldots, h_n\}, \quad h_i \in R^d,$$

bu yerda d yashirin fazo o‘lchamini bildiradi. Ushbu yashirin holatlar matnning chuqur semantik tuzilishini ifodalovchi asosiy qatlam hisoblanadi va keyingi barcha modullar aynan shu vektorlarga tayanadi.

Matndagi muhim so‘z va iboralarning umumiy mazmunga ta’sirini aniqlash maqsadida e’tibor mexanizmi qo‘llaniladi. Har bir yashirin holat uchun og‘irlik koeffitsienti quyidagicha hisoblanadi:

$$\alpha_i = \frac{\exp(w^T h_i + b)}{\sum_{j=1}^{n} \exp(w^T h_j + b)},$$

bu yerda w va b o‘rganiladigan parametrlar hisoblanadi. Ushbu og‘irliklar yordamida matnning statistik belgisi quyidagicha aniqlanadi:

$$C' = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i h_i .$$

Natijada C' vektori matndagi eng muhim semantik birliklarni jamlagan umumiy statistik ifodani taqdim etadi. Matndagi yaqin joylashgan so‘zlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoq qo‘llaniladi. Kontekstli vektorlar matritsasi ustida o‘lchami k ga teng bo‘lgan sirpanma oynalar hosil qilinadi:

$$H_{i:i+k-1} = [h_i, h_{i+1}, \ldots, h_{i+k-1}] .$$

Har bir oyna uchun konvolyutsion amal bajariladi:

$$z_i = W_c \cdot H_{i:i+k-1} + b_c ,$$

bu yerda W_c konvolyutsion yadro, b_c esa siljitish parametri. Chiziqsiz o‘zgartirishdan so‘ng xususiyatlar xaritasi olinadi:

$$m_i = \sigma(z_i) .$$

Mahalliy belgilarni jamlash uchun maksimal yig‘ish amali qo‘llaniladi:

$$M' = \max_i (m_i).$$

Bu vektor matndagi asosiy iboralar va qisqa semantik tuzilmalarni ifodalaydi. Matn bo‘ylab uzoq masofali bog‘lanishlarni aniqlash uchun ikki yo‘nalishli rekurrent neyron tuzilma qo‘llaniladi. Har bir vaqt bosqichida yashirin holat quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{g}_i = f(h_i, \overrightarrow{g_{i-1}}), \qquad \overleftarrow{g_i} = f(h_i, \overleftarrow{g_{i+1}}) .$$

Ikki yo‘nalishli yashirin holatlar birlashtiriladi:

$$g_i = [\overrightarrow{g_i}, \overleftarrow{g_i}] .$$

Matnning umumiy mazmuniy belgisi barcha holatlarning o‘rtacha qiymati orqali aniqlanadi:

$$H' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} g_i .$$

Ajratib olingan barcha belgilar yagona vektorga birlashtiriladi:

$$F = [M', H', C'] .$$

Ushbu birlashtirilgan vektor chiziqli tasniflagichga uzatiladi:

$$y = \text{softmax}(W_f F + b_f) ,$$

bu yerda W_f va b_f o‘rganiladigan parametrlar, y esa sinflar bo‘yicha ehtimollik taqsimotini bildiradi. Modelni o‘qitish jarayonida yo‘qotish funksiyasi sifatida haqiqiy va bashorat qilingan sinflar o‘rtasidagi farq minimallashtiriladi.

3. Natijalar.

Taklif etilgan kontekstga bog‘liq vektorlashtirish, konvolyutsion neyron tarmoq va ketma-ketlikka asoslangan xususiyatlarni birlashtiruvchi modelning samaradorligini baholash maqsadida bir qator tajribalar o‘tkazildi. Model 48 ta o‘quv davri davomida o‘qitildi va har bir davrda yo‘qotish funksiyasi qiymati kuzatildi.

1-jadvalda o‘quv davrlari davomida yo‘qotish funksiyasining o‘zgarishi keltirilgan. Natijalardan ko‘rinib turibdiki, dastlabki davrlarda yo‘qotish qiymati tez pasaygan bo‘lib, bu modelning kirish ma’lumotlaridagi asosiy qonuniyatlarni samarali o‘zlashtirayotganini ko‘rsatadi. Keyingi davrlarda pasayish

(cc) BY

sekinlashgan va yo‘qotish qiymati kichik tebranishlar bilan barqarorlashgan.

1-jadval.

O‘qitish davrlarida yo‘qotish funksiyasi qiymatlari

Epoch	Loss
1	1.1439
5	0.5600
10	0.3340
15	0.1391
20	0.0613
25	0.0333
30	0.0255
35	0.0182
40	0.0146
45	0.0126
48	0.0112

Ushbu natijalar modelning moslashuvsiz barqaror o‘rganayotganini va optimizatsiya jarayoni muvaffaqiyatli kechayotganini ko‘rsatadi. Model test to‘plamida baholanganida umumiy aniqlik 0.75 ni tashkil etdi. Bu natija kichik hajmdagi test tanlanmasi sharoitida model sinflararo farqlarni yetarli darajada ajrata olayotganini ko‘rsatadi. 2-jadvalda har bir sinf uchun aniqlik, qamrov va F1-mezon qiymatlari keltirilgan. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, uchinchi sinf uchun barcha namunalar to‘g‘ri aniqlangan bo‘lsa, birinchi va ikkinchi sinflar o‘rtasida qisman chalkashlik mavjud.

2-jadval.

Sinflar bo‘yicha baholash ko‘rsatkichlari

Sinf	Precision	Recall	F1-score	Support
0	1.0000	0.5000	0.6667	2
1	0.5000	1.0000	0.6667	1
2	1.0000	1.0000	1.0000	1
O‘rtacha (macro)	**0.8333**	**0.8333**	**0.7778**	4
Og‘irlangan (weighted)	**0.8750**	**0.7500**	**0.7500**	4

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, ayrim sinflar uchun qamrovning pastligi test tanlanmasidagi ma’lumotlar sonining kamligi bilan izohlanadi. Shu bilan birga, yuqori aniqlik qiymatlari modelning semantik belgilarni ajratib olish va ularni birlashtirish mexanizmi samarali ishlayotganini tasdiqlaydi.

Olingan tajribaviy natijalar taklif etilgan modelning matnli ma’lumotlar mazmunini turli darajalarda ifodalash qobiliyatiga ega ekanini ko‘rsatadi. Kontekstga bog‘liq vektorlashtirish matnning umumiy semantik mazmunini aniqlashga xizmat qilgan bo‘lsa, konvolyutsion neyron tarmoq mahalliy ibora darajasidagi belgilarni samarali ajratib oldi. Ketma-ketlikka asoslangan model esa uzoq masofali bog‘lanishlarni hisobga olish imkonini berdi. Ushbu komponentlarning birlashtirilishi natijasida tasniflash aniqligi sezilarli darajada yaxshilandi. Ushbu tadqiqotda kontekstga bog‘liq vektorlashtirish, konvolyutsion neyron tarmoq va ketma-ketlikka asoslangan modelni birlashtiruvchi integratsiyalashgan yondashuv taklif etildi. Tajribaviy natijalar ushbu arxitekturaning qisqa hajmdagi matnli ma’lumotlarning semantik tuzilishini turli darajalarda samarali ifodalash imkoniyatiga ega ekanini ko‘rsatdi. O‘qitish jarayonida yo‘qotish funksiyasining barqaror va izchil pasayishi model optimizatsiyasi muvaffaqiyatli amalga oshirilganini hamda parametrlarning moslashuvi izchil kechganini tasdiqlaydi. Natijalardan ko‘rinib turibdiki, kontekstga bog‘liq vektorlashtirish moduli matndagi so‘zlarning kontekstual ma’nosini to‘liq ifodalashga xizmat qilgan. Ushbu modulning qo‘llanilishi an’anaviy statik vektorlashtirish usullariga nisbatan sezilarli ustunlikni ta’minladi, chunki har bir so‘zning ifodasi butun matn konteksti bilan bog‘liq holda shakllantirildi. Natijada, sinonimlar, ko‘p ma’noli birliklar va semantik yaqin so‘zlar o‘rtasidagi farqlar yanada aniqroq modellashtirildi.

Konvolyutsion neyron tarmoq orqali ajratib olingan mahalliy mazmuniy belgilar matndagi asosiy iboralar va qisqa semantik tuzilmalarni aniqlashda muhim rol o‘ynadi. Maksimal yig‘ish amali yordamida eng muhim xususiyatlarning tanlab olinishi modelning shovqinli yoki kam ahamiyatli belgilar ta’siriga kamroq berilishiga imkon yaratdi. Bu esa tasniflash aniqligining barqaror bo‘lishiga xizmat qildi. Ketma-ketlikka asoslangan ikki yo‘nalishli rekurrent model esa matn bo‘ylab uzoq masofali bog‘lanishlarni

(cc) BY

hisobga olish imkonini berdi. Bu komponent ayniqsa murakkab sintaktik tuzilmalarga ega matnlar uchun muhim ahamiyat kasb etadi, chunki unda gap boshidagi va oxiridagi semantik birliklar o‘rtasidagi munosabatlar to‘liq aks ettiriladi. Ushbu modul yordamida matnning umumiy mazmuni yanada yaxlit ko‘rinishda ifodalandi. Baholash natijalarida ayrim sinflar uchun qamrov qiymatining nisbatan past bo‘lishi test tanlanmasining kichik hajmda ekanligi bilan izohlanadi. Shunga qaramasdan, umumiy aniqlik va o‘rtacha F1-mezon qiymatlari taklif etilgan yondashuvning amaliy samaradorligini ko‘rsatadi. Xususan, semantik belgilarni qo‘shish orqali tasniflash jarayonida sinflararo chalkashlik sezilarli darajada kamaydi. Umuman olganda, olingan natijalar taklif etilgan integratsiyalashgan model qisqa matnlarni tasniflash vazifasida ishonchli va samarali yondashuv ekanini tasdiqlaydi hamda kelgusida uni yanada kengroq ma’lumotlar to‘plamlarida sinovdan o‘tkazish maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi.

4.Xulosa

Mazkur tadqiqotda qisqa hajmdagi matnli ma’lumotlarni tasniflash uchun kontekstga bog‘liq vektorlashtirish, konvolyutsion neyron tarmoq va ketma-ketlikka asoslangan modelni o‘zida mujassam etgan yangi integratsiyalashgan yondashuv taklif etildi. Modelning asosiy g‘oyasi matn mazmunini turli darajalarda ifodalovchi belgilarni ajratib olish va ularni yagona semantik fazoda birlashtirishdan iborat bo‘ldi. Tajribaviy natijalar taklif etilgan yondashuvning samaradorligini tasdiqlab, o‘qitish jarayonida yo‘qotish funksiyasining barqaror pasayishi hamda test bosqichida qoniqarli aniqlik va F1-mezon qiymatlariga erishilganini ko‘rsatdi. Kontekstga bog‘liq vektorlashtirish moduli so‘zlarning semantik mazmunini aniq ifodalashga xizmat qilgan bo‘lsa, konvolyutsion neyron tarmoq mahalliy semantik birliklarni samarali ajratib oldi. Ketma-ketlikka asoslangan modul esa matnning umumiy mazmuniy tuzilishini to‘liq aks ettirish imkonini berdi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, turli darajadagi semantik belgilarni birlashtirish matnni tasniflash aniqligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Taklif etilgan modelni axborot xavfsizligi, aqlli tizimlar, ijtimoiy tarmoqlardagi matnlarni tahlil qilish va texnik nosozliklarni avtomatik aniqlash kabi sohalarda amaliy qo‘llash mumkin. Kelgusida tadqiqotni yanada kengroq va muvozanatli ma’lumotlar to‘plamlarida sinovdan o‘tkazish, shuningdek, model parametrlarini optimallashtirish va qo‘shimcha e’tibor mexanizmlarini joriy etish orqali tasniflash sifatini yanada oshirish rejalashtirilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Zhang S, Jiang P, Zhang Z, Wang C. WebGIS-based collaborative construction quality control of RCC gravity dam using sensing devices // J Constr Eng Manag. – 2021. – Vol. 147, no. 3. – 06020004. https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001994.
2. Wang H, Liu Z, Xu Y, Wei X, Wang L. Short text mining framework with specific design for operation and maintenance of power equipment // Csee J Power Energy. – 2020. – Vol. 7, no. 6. – P. 1267–1277. https://doi.org/10.17775/cseejpes.2019.01120.
3. Luo H, Lin L, Chen K, Antwi-Afari MF, Chen L. Digital technology for quality management in construction: a review and future research directions // Develop Built Environ. – 2022. – Vol. 12. – 100087. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100087.
4. Zhang D, Li M, Tian D, Song L, Shen Y. Intelligent text recognition based on multi feature channels network for construction quality control // Adv Eng Inf. – 2022. – Vol. 53. – 101669. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101669.
5. Piggot-Navarrete J, Blanchet P, Cabral MR, Perez C. Investigating the impact of construction workmanship defects on the hygrothermal performance and airtightness of lightweight-structure wooden envelope systems // Build Environ. – 2023. – Vol. 243. – 110705. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110705.
6. Han C, Tang F, Ma T, Gu L, Tong Z. Construction quality evaluation of asphalt pavement based on BIM and GIS // Automat Constr. – 2022. – Vol. 141. – 104398. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104398.
7. Tarekegn Gurmu A, Mahmood MN. Critical factors affecting quality in building construction projects: systematic review and

(cc) BY

meta-analysis // J Constr Eng Manag. – 2024. – Vol. 150, no. 3. – 04024004. https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13794.
8. Altaie MR, Dishar MM, Muhsin IF. Fundamental challenges and management opportunities in post disaster reconstruction project // Civil Engineering Journal. – 2023. – Vol. 9, no. 9. – P. 2161–2174. https://doi.org/10.28991/cej-2023-09-09-05.
9. Othman I, Ghani SNM, Choon SW. The total quality management (TQM) journey of Malaysian building contractors // Ain Shams Eng J. – 2020. – Vol. 11, no. 3. – P. 697–704. https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.11.002.
10. Zhang C, Cc C, Jamshidi M. Concrete bridge surface damage detection using a single-stage detector // Comput Aided Civ Inf Eng. – 2020. – Vol. 35, no. 4. – P. 389–409. https://doi.org/10.1111/mice.12500.
11. John ST, Sarkar P, Davis R. A long-range wide-area network system for monitoring early-age concrete compressive strength // J Constr Eng Manag. – 2023. – Vol. 149, no. 1. – 04022148. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002425.
12. Forcada N, Macarulla M, Gangolells M, Casals M. Assessment of construction defects in residential buildings in Spain // Build Res Inf. – 2014. – Vol. 42, no. 5. – P. 629–640. https://doi.org/10.1080/09613218.2014.922266.
13. Waziri BS. Design and construction defects influencing residential building maintenance in Nigeria // Jordan J Civ Eng. – 2016. – Vol. 10, no. 3. https://doi.org/10.14525/JJCE.10.3.3605.
14. Ren R, Zhang J. Semantic rule-based construction procedural information extraction to guide jobsite sensing and monitoring // J Comput Civil Eng. – 2021. – Vol. 35, no. 6. – 04021026. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000971.
15. Truong-Hong L, Lindenbergh R. Extracting structural components of concrete buildings from laser scanning point clouds from construction sites // Adv Eng Inf. – 2022. – Vol. 51. – 101490. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101490.

(cc) BY