

OCHIQ KANALLARDA EKSPLUATATSION REJIMLARNI KOXONEN XARITALARI ASOSIDA IDENTIFIKATSIYA QILISH VA AXBOROT MODELINI SHAKLLANTIRISH

Qudaybergenov Adilbay Abatbaevich

texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent, doktorant, Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O‘zbekiston.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Qazimbetova Muxabbad Maxsetbaevna

fizika-matematika fanlari falsafa doktori, doktorant, Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Ispanova Jadira Paraxat qizi

tayanch doktoranti, Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Bekmurodova Rayxon Soliyboy qizi

magistrant, Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O‘zbekiston.

E-mail: brayxon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5989-909X>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19421490>

***Annotatsiya.** Ushbu tezisda ochiq irrigatsiya kanallaridagi ekspluatatsion rejimlarni sensor monitoringi ma’lumotlari asosida avtomatik aniqlash va ularni semantik teglash orqali axborot modeliga aylantirish usuli taklif etilgan. Tadqiqotda suv sarfi, yuqori va pastki b’ef sathlari, zatvor holati, nasos rejimi, talabdan og‘ish va yo‘qotish indikatorlari kabi vaqt qatorlari ko‘rsatkichlari ishlatiladi. Ularni tayyorlash jarayonida tozalash, agregatlash, normallashtirish va belgilar fazosini shakllantirish bosqichlari bajariladi. Keyin Koxonenning o‘z-o‘zini tashkil etuvchi xaritasi asosida tipik ekspluatatsion holatlar klasterlarga ajratiladi va har bir klaster prototiplar orqali tavsiflanadi. Hosil bo‘lgan klasterlar predmet sohasi nuqtai nazaridan me’yoriy rejim, taqchillik holati, o‘tish rejimi va xavfli og‘ish kabi semantik teglar bilan boyitiladi. Shu tariqa mashinali tahlil natijasi formal axborot modeliga aylantirilib, talab–reja–fakt tahlili, kalibrlash, signallashtirish va dispetcherlik qarorlarini qo‘llab-quvvatlash imkoni yaratiladi. Taklif etilgan yondashuvning sifati kvantlash xatosi, topologik xatolik va klaster sifati ko‘rsatkichlari orqali baholanadi.*

***Kalit so‘zlar:** Koxonen xaritasi, ochiq kanal, ekspluatatsion rejim, vaqt qatorlari, klasterlash, semantik teglash, axborot modeli, sensor monitoringi*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ НА ОСНОВЕ КАРТ КОХОНЕНА И ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Кудайбергенов Адилбай Абатбаевич

доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент, докторант, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Казымбетов Мухаббад Махсетбаевна

доктор философии по физико-математическим наукам (PhD), докторант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Испанова Жадира Парахат кизи

базовый докторант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Бекмуродова Райхон Солийбой кизи

магистрант, Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, Нукус, Узбекистан.

E-mail: brayxon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5989-909X>

***Аннотация.** В данном тезисе предложен метод автоматического выявления эксплуатационных режимов в открытых оросительных каналах на основе данных сенсорного мониторинга и преобразования их в информационную модель посредством семантического тегирования. В исследовании используются показатели временных рядов, такие как расход воды, уровни верхнего и нижнего бьефов, положение затвора, режим работы насоса, отклонение от потребности и индикаторы потерь. В процессе их подготовки выполняются этапы очистки, агрегирования, нормализации и формирования пространства признаков. Далее на основе самоорганизующейся карты Кохонена типичные эксплуатационные состояния разделяются на кластеры, и каждый кластер описывается через прототипы. Полученные кластеры обогащаются семантическими тегами, отражающими предметную область, такими как нормативный режим, состояние дефицита, переходный режим и опасное отклонение. Таким образом, результат машинного анализа преобразуется в формальную информационную модель, что создает возможность для анализа «потребность–план–факт», калибровки, сигнализации и поддержки диспетчерских решений. Качество предложенного подхода оценивается по показателям ошибки квантования, топологической ошибки и качества кластеризации.*

***Ключевые слова:** карта Кохонена, открытый канал, эксплуатационный режим, временные ряды, кластеризация, семантическое тегирование, информационная модель, сенсорный мониторинг.*

**IDENTIFICATION OF OPERATIONAL REGIMES IN OPEN CHANNELS
BASED ON KOHONEN MAPS AND INFORMATION MODEL FORMATION**

Kudaybergenov Adilbay Abatbaevich

Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: adilbek_79@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-5182>

Kazimbetov Muxabbad Maxsetbaevna

Doctor of Philosophy (PhD) in Physical and Mathematical Sciences, doctoral student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

E-mail: qazimbetovamuxabbad@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2458-4210>

Ispanova Jadira Paraxat qizi

basic doctoral student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

E-mail: paraxatovna1996@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5701-7200>

Bekmurodova Rayxon Soliyboy qizi

master’s student, Berdakh Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan.

E-mail: brayxon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5989-909X>

Abstract. *This thesis proposes a method for automatically identifying operational regimes in open irrigation canals based on sensor monitoring data and transforming them into an information model through semantic tagging. The study uses time-series indicators such as water discharge, upstream and downstream water levels, gate position, pump operating mode, demand deviation, and loss indicators. During data preparation, the stages of cleaning, aggregation, normalization, and feature space formation are performed. Then, based on the Kohonen self-organizing map, typical operational states are divided into clusters, and each cluster is described through prototypes. The resulting clusters are enriched with semantic tags from the domain perspective, such as normal regime, deficit state, transition regime, and hazardous deviation. In this way, the result of machine analysis is transformed into a formal information model, creating opportunities for demand-plan-actual analysis, calibration, signaling, and support of dispatching decisions. The quality of the proposed approach is evaluated using quantization error, topological error, and clustering quality indicators.*

Keywords. *Kohonen map, open channel, operational regime, time series, clustering, semantic tagging, information model, sensor monitoring.*

KIRISH

Ochiq irrigatsiya kanallarida suv taqsimotini dispetcherlik boshqaruvi amalda ko‘p sonli sensor kuzatuvlari va ekspluatatsion reglamentlar asosida bajariladi. Biroq ma’lumotlar hajmi ortgani sayin, ekspluatatsion holatlarni (rejimlarni) qo‘lda guruhlash, tavsiflash va qaror qabul qilishni izohlanadigan tarzda asoslash qiyinlashadi. Shu sabab “ma’lumot → bilim” o‘tishni ta’minlaydigan, ishonchli va interpretatsiyaga qulay axborot modeli yadrosini qurish dolzarb vazifadir. SOM (Kohonen xaritasi) raqobatli o‘rganishga tayangan holda ko‘p o‘lchovli belgilar

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

fazosidagi namuna taqsimotini past o’lchovli reshlyotkada joylashtirib, yaqinlik munosabatlarini imkoni boricha saqlaydi; bu xususiyat uni ochiq kanal ekspluatatsiyasining holatlarini klasterlash va vizual-interpretativ tahlil qilish uchun qulay qiladi [1-3].

Ushbu tezisda SOM natijasini faqat “xarita rasmi” sifatida emas, balki formal axborot modeli sifatida qayta yig’ish konsepsiyasi taklif etiladi: kiruvchi ma’lumotlar fazosini aniq qo’yish, ma’lumotlarni tayyorlash, SOM o’qitish, klasterlash va semantik teglash hamda sifat ko’rsatkichlari orqali baholash bosqichlari yagona zanjirda bayon qilinadi [2-7].

ASOSIY QISM

Masalaning qo’yilishi va kiruvchi ma’lumotlar fazosi. Kuzatuvlar to’plami $D = (x_i, z_i)_{i=1}^N$ ko’rinishida berilsin, bu yerda x_i – sonli belgilar vektori, z_i – metama’lumotlar (vaqt tamg’asi, ob’ekt identifikatori, joylashuv, matniy izoh va h.k.). Belgilar turli o’lchov birligi va masshtabga ega bo’lgani uchun, SOM da masofa metrikasi (odatda Yevklid) natijasi buzilmasligi maqsadida normallashtirish qoidasi kiritiladi: $\tilde{x} = (x - \mu) / \sigma$. Ochiq kanallardagi kuzatuvlar ko’pincha vaqt qatorlari ko’rinishida bo’lib (sarf Q , yuqori/pastki b’ef sathlari H_u / H_d , zatvor ochilishi a , nasos holati va boshqalar), ulardan vaqt oynasi bo’yicha agregatlangan holat vektorlari shakllantiriladi (o’rtacha, maksimum, kvantil, trend qiyaligi kabi deskriptorlar) [2,3].

Ma’lumotlarni tayyorlash. SOM natijasining ishonchliligi kiruvchi ma’lumot sifatiga qattiq bog’liq: yo’q qiymatlar, format nomutanosibliigi, dublikatlar, fizik ma’nosiz qiymatlar, sensor shovqini va chiqib ketuvchi nuqtalar masofalar hisobini buzib, klasterlar va prototiplarning interpretatsiyasiga salbiy ta’sir qiladi. Shuning uchun tayyorlash bosqichi alohida algoritmik jarayon sifatida qo’yiladi. Ochiq kanal ma’lumotlari turli chastotada (1–5 daqiqa) kelishi mumkin, ammo qarorlar soatlik/kunlik masshtabda qabul qilinishi sababli, bir nechta vaqt oynasida (masalan, 15 daqiqa, 1 soat, 1 kun) agregatlash rejimlarni aniqroq ajratishga yordam beradi [3].

SOM o’qitish algoritmi. SOM xaritasi M ta tugundan iborat bo’lib, har bir tugunga prototip (kodkitob) vektori m_j mos qo’yiladi. Har iteratsiyada kiruvchi namuna $x(t)$ uchun eng yaxshi mos keluvchi birlik (BMU) $c = \arg \min_j d(x(t), m_j(t))$ aniqlanadi. So’ng prototiplar

qo’shnilik funksiyasi orqali yangilanadi: $m_i(t+1) = m_i(t) + \alpha(t) \cdot h_{c,i}(t) \cdot (x(t) - m_i(t))$.

Qo’shnilik yadrosi uchun amalda Gauss funksiyasi qo’llanadi:

$h_{c,i}(t) = \exp\left(-\|r_c - r_i\|^2 / (2\sigma(t)^2)\right)$, bu yerda $\sigma(t)$ – vaqt bo’yicha kamayib boruvchi qo’shnilik

radiusi. Parametrlarni tanlashda kvantlash–topologiya muvozanatini saqlash, xarita o’lchami M ni N ga mutanosib eksperimental tanlash va Pareto-optimal variantni ajratish tavsiya etiladi [2,3].

SOM natijasidan axborot modeli hosil qilish. SOM chiqishi amaliyotda klasterlash, prototiplarni ajratish va semantik teglash orqali formal axborot modeliga aylantiriladi. Avvalo kodkitob prototiplari m_j klasterlanib, har bir tugunga klaster indeksi $\kappa(j)$ birlashtiriladi; shunda namuna x uchun klaster yorlig’i $y(x) = \kappa(BMU(x))$ orqali aniqlanadi. Klaster prototipi sifatida o’rtacha vektor yoki medoid (klaster ichidagi eng “markaziy” prototip) saqlanadi. Semantik teglashda klaster prototipining standartlashtirilgan og’ishlari tahlil qilinib, domen atamaları bilan mos tushuvchi teglar (masalan, “taqchillik”, “normal”, “xavfli o’tish”) birlashtiriladi. Ochiq kanal

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

domenida holat vektori (Q , H_u , H_d , a , $\Delta Demand$, $Loss$ indikator) asosida rejimlar ajratilib, IF–THEN qoidalari yoki assotsiatsiya qoidalari ko‘rinishida “izohlanadigan qaror” qabati shakllantiriladi [4].

Sifatni baholash mezonlari. Axborot modeli amaliyotga joriy etilishi uchun uning sifati kamida uch yo‘nalishda baholanadi: kvantlash sifati, topologik saqlanish va klaster sifati. Kvantlash xatosi QE namuna va uning BMU prototipi orasidagi masofalarning o‘rtachasi orqali hisoblanadi. QE kichik bo‘lsa, kiruvchi fazo prototiplar bilan yaxshi qoplangan hisoblanadi. Topologik xatolik TE esa har bir namuna uchun 1- va 2-eng yaqin BMU lar xarita to‘rida qo‘shni emasligini indikatorlash orqali aniqlanadi. TE 0 ga yaqin bo‘lsa topologik saqlanish yaxshi bo‘ladi. Klaster sifati uchun silhouette koeffitsienti, Davies–Bouldin indeksi kabi ko‘rsatkichlar qo‘llanib, klasterlar ajralganligi va barqarorligi baholanadi. Amaliyotda xarita kattalashgan sayin QE kamayishi mumkin, shuning uchun qaror QE va TE ni birgalikda (ko‘pmezonli) hisobga olgan holda qabul qilinadi [2,3,5-7].

Amaliy ahamiyati. Taklif etilgan zanjir (tayyorlash \rightarrow SOM \rightarrow klaster/teg/qoida \rightarrow sifat baholash) dispatcherlik axborot tizimida real vaqt monitoringini interpretatsiya qilish, rejimlarni avtomat aniqlash va nazorat ko‘rsatkichlarini shakllantirishga xizmat qiladi. Muhim jihat – natijalarni faqat ML chiqishi sifatida emas, balki ma’lumotlar bazasida saqlanadigan formal ob’ektlar (klasterlar, prototiplar, teglar, qoidalar) ko‘rinishida ifodalashdir; bu esa keyingi analitika, signallash va qaror qabul qilish modullariga (SCADA-lite, MPC/LP kabi) integratsiyani osonlashtiradi [3,8].

XULOSA

Tezida ochiq kanallarda ekspluatatsion rejimlarni SOM asosida aniqlash va ularni semantik teglash orqali axborot modeli yadrosini qurish yondashuvi bayon qilindi. Kiruvchi ma’lumotlar fazosi va tayyorlash qoidalarini formallashtirish, SOM o‘qitish algoritmi va parametr tanlovi, shuningdek, SOM natijasini klasterlar-prototiplar-teglar-qoidalar majmuasiga aylantirish hamda QE/TE /klaster mezonlari bilan sifatni nazorat qilish yagona hisoblash-metodik zanjirni tashkil etadi. Ushbu asoslar keyingi tadqiqotlarda real ob’ektlar (postlar, gidroinshootlar) kesimida rejimlarni verifikatsiya qilish va ishonchli avtomat qaror qabul qilishga yo‘l ochadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. T. Kohonen, “Self-organized formation of topologically correct feature maps,” *Biol. Cybern.*, vol. 43, no. 1, pp. 59–69, 1982, doi: 10.1007/BF00337288.
2. T. Kohonen, “Essentials of the self-organizing map,” *Neural Networks*, vol. 37, pp. 52–65, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.neunet.2012.09.018.
3. T. Kohonen, “The self-organizing map,” *Proc. IEEE*, vol. 78, no. 9, pp. 1464–1480, Sep. 1990, doi: 10.1109/5.58325.
4. J. Vesanto and E. Alhoniemi, “Clustering of the self-organizing map,” *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 11, no. 3, pp. 586–600, May 2000, doi: 10.1109/72.846731.

“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)

5. H.-U. Bauer and K. R. Pawelzik, “Quantifying the neighborhood preservation of self-organizing feature maps,” *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 3, no. 4, pp. 570–579, Jul. 1992, doi: 10.1109/72.143371.

6. P. J. Rousseeuw, “Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 20, pp. 53–65, Nov. 1987, doi: 10.1016/0377-0427(87)90125-7.

7. D. L. Davies and D. W. Bouldin, “A Cluster Separation Measure,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-1, no. 2, pp. 224–227, Apr. 1979, doi: 10.1109/TPAMI.1979.4766909.

8. G. Pözlbauer, M. Dittenbach, and A. Rauber, “Advanced visualization of Self-Organizing Maps with vector fields,” *Neural Networks*, vol. 19, no. 6–7, pp. 911–922, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.neunet.2006.05.013