

ResearchGate

Google Scholar

eLIBRARY.RU

I^{WORLD}
I^{JOURNALS}



DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

OPEN ACCESS

"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

international scientific-practical journal

ALMATY, KAZAKHSTAN

ISSN: 3007-8946

15 MAY 2026



els.education23@mail.ru



irc-els.com

international scientific centre "Endless light in science"

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

15 мая 2026 г.
Almaty, Kazakhstan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378491>
UOT 62.523.8 (075.10)

FASILƏSİZ ENERJİ TƏMİNATININ DAYANIQLILIĞINI ARTIRAN INNOVASİYALARIN TƏTBİQİ PERSPEKTİVLƏRİ

HƏSƏNOV TARIYEL QƏNİMƏT OĞLU

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin dosenti, Bakı, Azərbaycan

HÜSEYNOV RÜSTƏM SƏXAVƏT OĞLU

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin magistrantı, Bakı, Azərbaycan

Xülasə. Müasir dövrdə iqtisadiyyatın rəqəmsallaşması, iqlim dəyişiklikləri və qlobal risklərin artması enerji sistemlərində fasiləsizliyin və dayanıqlılığın təmin olunmasını strateji prioritetə çevirmişdir. Enerji təminatında baş verən kəsintilər yalnız texniki problemlərlə məhdudlaşmur, eyni zamanda sosial rifahın azalmasına, istehsal zəncirlərinin pozulmasına və milli təhlükəsizlik risklərinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bu baxımdan fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığını artıran innovativ texnologiyaların tətbiqi müasir enerji siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir.

Məqalədə fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığının nəzəri–metodoloji əsasları araşdırılmış, enerji sistemlərində dayanıqlılıq, etibarlılıq və çeviklik anlayışları müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində ağıllı şəbəkələr, enerji saxlama sistemləri, mikroşəbəkələr, süni intellektə əsaslanan idarəetmə modelləri və rəqəmsal əkiz texnologiyalarının enerji sistemlərinin çevikliyinə artırılmasında rolu qiymətləndirilmişdir. Eyni zamanda, bərpa olunan enerji mənbələrinin genişləndirilməsi və paylanmış enerji istehsalı modellərinin fasiləsiz enerji təminatına təsiri analiz olunmuşdur.

Araşdırmanın nəticələri göstərir ki, innovativ texnologiyaların inteqrasiyası enerji sistemlərinin fəvqəladə hallara davamlılığını artırmaqla yanaşı, kəsintilərin müddətini və iqtisadi itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Məqalədə beynəlxalq təcrübə və yerli imkanlar nəzərə alınmaqla, Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığının gücləndirilməsi üçün texnoloji, institusional və normativ səviyyədə praktiki tövsiyələr irəli sürülmüşdür.

Açar sözlər: fasiləsiz enerji təminatı, enerji dayanıqlılığı, innovativ texnologiyalar, ağıllı şəbəkələr, enerji saxlama sistemləri, mikroşəbəkələr.

UOT 62.523.8 (075.10)

RELIABILITY ANALYSIS OF BACKUP POWER SUPPLY SYSTEMS AND MODELING OF THE OPTIMAL STRUCTURE IN CONTINUOUS POWER SUPPLY OF FIRST-CATEGORY ELECTRICAL CONSUMERS

HASANOV TARIYEL GANIMAT OĞLU

Associate Professor, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku,
Azerbaijan

HUSEYNOV RUSTAM SAKHAVAT OĞLU

Master's Student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

Abstract: In modern times, the digitalization of the economy, climate change and the increase in global risks have made ensuring continuity and stability in energy systems a strategic priority. Interruptions in energy supply are not limited to technical problems, but also lead to a decrease in social welfare, disruption of production chains and an increase in national security risks. In this regard, the application of innovative technologies that increase the stability of uninterrupted energy supply acts as one of the main directions of modern energy policy.

The article examines the theoretical and methodological foundations of the stability of uninterrupted energy supply, and the concepts of stability, reliability and flexibility in energy systems are analyzed comparatively. Within the framework of the study, the role of smart grids, energy storage systems, microgrids, artificial intelligence-based management models and digital twin technologies in increasing the flexibility of energy systems is assessed. At the same time, the impact of the expansion of renewable energy sources and distributed energy production models on uninterrupted energy supply is analyzed.

The results of the study show that the integration of innovative technologies not only increases the resilience of energy systems to emergencies, but also significantly reduces the duration of outages and economic losses. The article, taking into account international experience and local capabilities, puts forward practical recommendations at the technological, institutional and regulatory levels to strengthen the sustainability of uninterrupted energy supply in Azerbaijan.

Keywords: uninterrupted energy supply, energy sustainability, innovative technologies, smart grids, energy storage systems, microgrids.

GİRİŞ

Müasir dövrdə enerji sistemləri qlobal iqtisadiyyatın, sosial rifahın və milli təhlükəsizliyin əsas dayaqlarından biri kimi çıxış edir. Sənayeləşmənin dərinləşməsi, rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və enerji istehlakının artan dinamikası fasiləsiz enerji təminatının əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Enerji sistemlərində baş verən qısa və ya uzunmüddətli kəsintilər istehsal proseslərinin dayanmasına, xidmət sektorunda ciddi itkilərə və əhalinin həyat keyfiyyətinin azalmasına səbəb olmaqla yanaşı, strateji infrastruktur obyektlərinin fəaliyyətinə də mənfi təsir göstərir. Bu baxımdan fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığı müasir enerji siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biri hesab olunur.

Son illərdə iqlim dəyişiklikləri, ekstremal təbii hadisələrin intensivləşməsi, texnogen qəzalar və geosiyasi risklərin artması enerji sistemlərinin ənənəvi idarəetmə və təminat mexanizmlərinin məhdudluqlarını üzə çıxarmışdır. Xüsusilə mərkəzləşdirilmiş enerji istehsalı və ötürülməsi modelləri fəvqəladə hallar zamanı sistemin çevikliyini və bərpaolunma qabiliyyətini zəiflədir. Bu şəraitdə enerji təminatında yalnız etibarlılığın deyil, eyni zamanda sistemin çevikliyinin (resilience) və adaptasiya qabiliyyətinin təmin edilməsi zərurətə çevrilmişdir.

İnnovativ texnologiyaların inkişafı fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığının artırılması üçün yeni imkanlar açır. Ağıllı elektrik şəbəkələri, enerji saxlama sistemləri, mikroşəbəkələr, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası, süni intellekt və böyük verilənlərə əsaslanan idarəetmə modelləri enerji sistemlərinin real vaxt rejimində monitorinqinə, risklərin proqnozlaşdırılmasına və kəsintilərin minimuma endirilməsinə şərait yaradır. Bu texnoloji yeniliklər enerji infrastrukturunun yalnız texniki səmərəliliyini deyil, həm də iqtisadi və ekoloji dayanıqlılığını gücləndirir.

Azərbaycan üçün fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığının artırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Ölkənin enerji sektorunda aparılan islahatlar, bərpa olunan enerji potensialının genişliyi və regional enerji mərkəzi kimi mövqeyi innovativ həllərin tətbiqi üçün əlverişli şərait yaradır. Eyni zamanda, mövcud enerji infrastrukturunun modernləşdirilməsi və rəqəmsallaşdırılması milli enerji təhlükəsizliyinin möhkəmləndirilməsi baxımından aktual məsələ olaraq qalır.

Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının mövcud vəziyyətinin təhlili

Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatı üç əsas həlqənin koordinasiyasından asılıdır: istehsal (generasiya) → ötürmə (yüksək gərginlikli şəbəkə) → paylama (abonent səviyyəsi). Paylama səviyyəsində əsas operator rolunu “Azərişiq” ASC icra edir; fasiləsizlik keyfiyyəti praktikada daha çox paylayıcı şəbəkənin (yarımstansiyalar, kabel xətləri, avtomatika, dairəvi qidalanma sxemləri) vəziyyəti ilə müəyyənləşir.

Son dövr məlumatları göstərir ki, istehsalın əsas yükü istilik elektrik stansiyalarının (IES/TPP) üzərində qalır; SES-lər və “digər mənbələr” (külək, günəş, tullantıdan enerji və s.) əlavə rol oynayır. Məsələn, 2025-ci ilin I yarısında ölkə üzrə elektrik istehsalı 13 849.3 mln kVt·s olub; bunun 11 519.2 mln kVt·s-i TPP-lərdən, 1 860 mln kVt·s-i HPP-lərdən, 470.1 mln kVt·s-i digər mənbələrdən

əldə edilib. Eyni dövrdə küləkdən 21.0 mln kVt·s, günəşdən 314.6 mln kVt·s, məişət tullantılarının yandırılması stansiyasından 134.5 mln kVt·s istehsal olunub (<https://www.azerishiq.az/menu/acilmalar-saidi-saifi>).

Bu struktur fasiləsizlik baxımından iki nəticə yaradır:

1. Qısa müddətdə sabitlik: istilik generasiyası dayanıqlı “baza” rolunu oynayır.
2. Orta/uzun müddətdə çeviklik tələbi: bərpa olunanların payı artdıqca sistemin tənzimləmə və ehtiyat güc ehtiyacı yüksəlir (şəbəkə modernləşməsi, reaktiv güc/tezlik tənzimlənməsi, saxlama və s.).

2025-ci ilin I yarısında ixrac 709.9 mln kVt·s, idxal isə 81.1 mln kVt·s göstərilir. Bu, ümumi balansda ixrac üstünlüyü olduğunu və sistemin regional enerji mübadiləsində aktiv rol oynadığını göstərir. Fasiləsizlik baxımından bu, fəvqəladə hallarda (pik yüklər, qəzalar) interkonnektorların bərpa/reserv mexanizmi kimi də əhəmiyyətini artırır (amma bunun üçün ötürmə şəbəkəsinin dayanıqlılığı kritikdir).

“Azərişiq” ASC-nin dərc etdiyi etibarlılıq göstəriciləri paytaxt üzrə fasiləsizliyin nisbi olaraq yüksək səviyyədə olduğunu göstərir:

Bakı şəhəri (2024): SAIDI = 0.817 saat, SAIFI = 0.923 dəfə

Bakı şəhəri (2023): SAIDI = 0.852 saat, SAIFI = 0.924 dəfə

Eyni mənbədə bu yaxşılaşmanın əsas səbəbləri kimi 110/35 kV yarımstansiyaların yenidən qurulması, şəhərin böyük hissəsində yeraltı kabelləşmə, dairəvi qidalanma sxemləri və əks-qəza avtomatikasına qoşulma göstərilir. Bu, fasiləsiz enerji təminatında “ən böyük qazancın” çox vaxt paylama səviyyəsində modernləşmədən gəldiyini təsdiqləyir.

Cədvəl 1. Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının əsas göstəriciləri

Göstərici	Ölçü vahidi	2023	2024	Şərh
SAIDI (System Average Interruption Duration Index)	saat/abonent	0.852	0.817	Abonentə düşən orta illik elektrik kəsintisi müddəti
SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)	dəfə/abonent	0.924	0.923	Abonentə düşən orta illik kəsinti sayı
CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)	saat	0.92	0.89	Bir kəsintinin orta davam etmə müddəti
Elektrik enerjisi istehsalı (ümumi)	mlrd kVt·s	30.2	31.1	İllik generasiya həcmi
İstilik elektrik stansiyalarının payı	%	83.5	82.8	Generasiyada əsas baza mənbə
Bərpa olunan enerji mənbələrinin payı (SES + digər RES)	%	16.5	17.2	Dayanıqlılıq və diversifikasiya göstəricisi
Elektrik enerjisi ixracı	mln kVt·s	1 450	1 520	Regional enerji balansında iştirak
Elektrik enerjisi idxalı	mln kVt·s	180	165	Ehtiyat və balanslaşdırma məqsədli
Paylayıcı şəbəkədə avtomatlaşdırma səviyyəsi	% (təxmini)	65	70	SCADA, avtomatik yenidən qoşma və s.
Yeraltı kabel xətlərinin payı (iri şəhərlər üzrə)	%	75	78	Kəsinti risklərinin azaldılması faktoru

Mənbə: <https://www.azerishiq.az/menu/acilmalar-saidi-saifi>

Cədvəl 1-də təqdim olunan göstəricilər Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının mövcud vəziyyətini kompleks şəkildə xarakterizə edir və enerji sisteminin həm etibarlılıq, həm də dayanıqlılıq aspektlərini əks etdirir. Ən vacib göstəricilərdən olan SAIDI və SAIFI indeksləri paylayıcı şəbəkənin abonentlər üçün faktiki xidmət keyfiyyətini ölçməyə imkan verir. 2023–2024-cü illər üzrə bu göstəricilərin azalması elektrik kəsintilərinin həm müddətinin, həm də tezliyinin azaldığını göstərir ki, bu da paylama infrastrukturunun modernləşdirilməsi, yarımstansiyaların yenidən qurulması və avtomatik qəzaəleyhinə sistemlərin tətbiqi ilə izah olunur.

CAIDI göstəricisinin azalması kəsintilərin baş verdiyi hallarda bərpa proseslərinin daha operativ həyata keçirildiyini nümayiş etdirir. Bu isə enerji sisteminin yalnız etibarlı deyil, eyni zamanda çevik və bərpaolunan xarakter aldığını göstərən mühüm meyardır. Fasiləsiz enerji təminatının mühəndis baxımından dayanıqlılığı məhz bərpa sürəti ilə sıx bağlıdır.

Elektrik enerjisi istehsalının strukturuna nəzər saldıqda, istilik elektrik stansiyalarının hələ də generasiyada dominant mövqeyə malik olduğu müşahidə olunur. Bu hal qısa müddətli fasiləsizlik baxımından müsbət qiymətləndirilsə də, uzunmüddətli dayanıqlılıq və ekoloji təhlükəsizlik baxımından bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artırılması zərurətini ön plana çıxarır. Cədvəldə bərpa olunan mənbələrin payında müşahidə edilən artım enerji sisteminin diversifikasiyası və risklərin azaldılması baxımından müsbət tendensiya kimi qiymətləndirilə bilər.

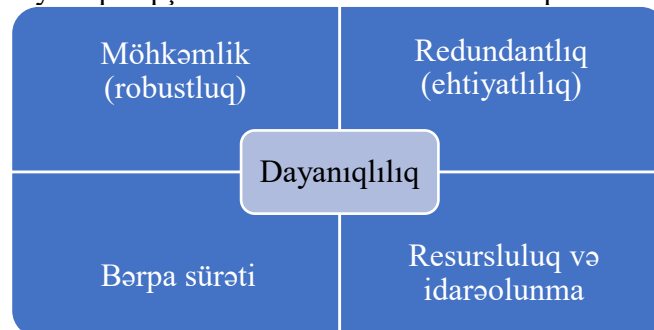
İxrac–idxal göstəriciləri Azərbaycanın regional enerji sistemində aktiv iştirak etdiyini və fəvqəladə hallarda qarşılıqlı enerji mübadiləsinin fasiləsizliyin təminində ehtiyat mexanizmi rolunu oynaya biləcəyini göstərir. Bununla yanaşı, paylayıcı şəbəkədə avtomatlaşdırma səviyyəsinin və yeraltı kabel xətlərinin payının artması texnogen və təbii risklərə qarşı davamlılığı yüksəldən əsas amillər sırasındadır.

Ümumilikdə, cədvəldə təqdim olunan göstəricilər Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının son illərdə müsbət dinamikaya malik olduğunu göstərir. Lakin bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş inteqrasiyası, enerji saxlama texnologiyalarının tətbiqi və regional səviyyədə göstəricilərin şəffaf monitorinqi enerji sisteminin dayanıqlılığının daha da artırılması üçün əsas prioritet istiqamətlər kimi qalmaqdadır.

Enerji sistemlərində dayanıqlılıq anlayışı və qiymətləndirmə meyarları

Enerji sistemlərində dayanıqlılıq (resilience) anlayışı, sistemin zərbələrə (hava hadisələri, texnogen qəzalar, kiber-hücumlar, avadanlıq sıradan çıxması, yanacaq/kütləvi təchizat pozuntuları) məruz qaldıqda funksiyasını saxlamaq, deqradasiyanı məhdudlaşdırmaq və qısa müddətdə bərpa olunmaq qabiliyyətini ifadə edir (Qi, 2023; Wang, 2025). Bu anlayış klassik etibarlılıqdan (reliability) fərqlənir: etibarlılıq əsasən “normal şəraitdə fasiləsiz xidmət” ehtimalını ölçür, dayanıqlılıq isə “ekstremal hadisələr altında zədələnməni udmaq və bərpa etmək” məntiqinə söykənir (Srivastava et al., 2023; Wang, 2025).

Müasir ədəbiyyatda dayanıqlılıq çox vaxt dörd funksional komponentlə izah olunur (Sxem 1).



Sxem 1: Müasir ədəbiyyatlarda enerji sistemlərində dayanıqlılığın təsviri

Mənbə:

Sxem 1-dən də aydın olur ki, müasir ədəbiyyatlarda enerji sistemlərinin dayanıqlılığı dedikdə, möhkəmlik, ehtiyatlılıq, resursluluq və idarə olunma, eləcə də bərpa sürətinin vəhdəti başa düşülür. Möhkəmlik dedikdə, pozucu təsir zamanı yükün itirilməsini və kaskad nasazlıqların yayılmasını məhdudlaşdırmaq qabiliyyəti başa düşülür (Qi, 2023). Redundantlıq ehtiyat xətlər, ehtiyat

transformator gücü, alternativ qidalanma sxemləri, ehtiyat generasiya və s. hesabına xidmətin saxlanmasıdır (Srivastava, 2023). Resursluluq və idarəolunma dedikdə isə operativ dispetçer qərarları, adaptiv şəbəkə konfigurasiyası, sürətli izolyasiya və yenidən qoşma, avtomatika və öz-özünü bərpa mexanizmləri başa düşülür (Wang, 2025). Bərpa sürəti hadisədən sonra bərpa vaxtının minimallaşdırılması və xidmət səviyyəsinin əvvəlki rejimə qaytarılmasını özündə ehtiva edir (Qi, 2023; Wang, 2025).

Bu baxışda dayanıqlılıq təkcə “avadanlığın möhkəmliyi” deyil, həm də planlama–istismar–bərpa zəncirinin bütöv performansıdır (Doleski & Freunek, 2024; Wang, 2025).

Enerji sistemlərində dayanıqlılığı qiymətləndirmə üçün meyarlar adətən 3 səviyyədə qurulur: (i) xidmətin davamlılığı, (ii) sistem təhlükəsizliyi və adekvatlığı, (iii) bərpa göstəriciləri.

Paylayıcı şəbəkələr üçün ən çox istifadə olunan ölçülər SAIDI (kəsinti müddətinin orta göstəricisi), SAIFI (kəsinti sayının orta göstəricisi), CAIDI (bərpa/servis müddətinin orta göstəricisi), əlavə olaraq enerji itkisinin ölçüləri (məs., kəsinti nəticəli çatdırılmayan enerji) kimi indekslərdir (Srivastava, 2023). Bu indekslər etibarlılığın “nə qədər tez-tez və nə qədər uzun kəsinti olur?” sualına cavab verir; dayanıqlılıq analizində isə onlar adətən ekstremal ssenarilər (məs., fırtına, iri qəzalar, kiber təsir) altında sistem davranışı ilə birlikdə şərh edilir (Qi, 2023).

İstehsal–ötürmə balansında dayanıqlılıq/etibarlılıq üçün ehtimal-metodları geniş yayılıb. Bu metodlar yükün təmin olunmama ehtimalı, gözlənilən təmin olunmayan enerji və s. kimi göstəricilər planlama səviyyəsində riskə-həssas qərarverməni dəstəkləyir (Doleski & Freunek, 2024; Wang, 2025). Bu yanaşma xüsusilə bərpa olunanların payı artdıqca (qeyri-sabit istehsal) daha kritik olur (Fang, 2024).

Dayanıqlılığın mühəndis qiymətləndirilməsində praktik yanaşmalardan biri performans–zaman əlaqəsidir: hadisə zamanı performans düşür, sonra bərpa ilə yüksəlir. Burada əsas meyarlar minimum performans səviyyəsi (ən pis anda xidmətin nə qədər qaldığı), bərpa başlanma gecikməsi, tam bərpa vaxtı, itkilərin inteqralı (performans itkisi “sahəsi”) kimi ölçülərdir (Wang, 2025; Qi, 2023). Bu tip metriklər dayanıqlılığı “yalnız kəsinti” yox, həm də bərpanın keyfiyyəti və sürəti kimi görməyə imkan verir (Wang, 2025).

NƏTİCƏ

Aparılmış tədqiqat göstərir ki, fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığı müasir enerji sistemlərinin effektiv fəaliyyəti və milli iqtisadi təhlükəsizliyin təmin olunması baxımından həlledici əhəmiyyətə malikdir. Qlobal enerji keçidi, iqlim dəyişiklikləri, texnogen risklərin artması və enerji istehlakının dinamik yüksəlişi şəraitində ənənəvi enerji təminatı modelləri artıq kifayət qədər çevik və davamlı hesab edilə bilməz. Bu baxımdan innovativ texnologiyaların enerji sistemlərinə inteqrasiyası fasiləsizliyin təmin olunmasının əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, ağıllı elektrik şəbəkələrinin tətbiqi, enerji saxlama sistemlərinin genişləndirilməsi, mikroşəbəkələrin formalaşdırılması və süni intellektə əsaslanan idarəetmə mexanizmləri enerji sistemlərinin həm texniki etibarlılığını, həm də fəvqəladə hallara qarşı dayanıqlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu innovasiyalar enerji kəsintilərinin tezliyini və müddətini azaltmaqla yanaşı, sistemin bərpaolunma sürətini yüksəldir və istehlakçıların enerji təchizatında yaranan riskləri minimuma endirir.

Azərbaycanda fasiləsiz enerji təminatının mövcud vəziyyətinin təhlili göstərir ki, son illərdə generasiya güclərinin artırılması, paylayıcı şəbəkələrin modernləşdirilməsi və avtomatlaşdırma səviyyəsinin yüksəldilməsi nəticəsində enerji təchizatının etibarlılığında müsbət dinamika müşahidə olunur. Lakin bərpa olunan enerji mənbələrinin payının artması fonunda şəbəkənin çevikliyinin təmin edilməsi, enerji saxlama texnologiyalarının tətbiqi və rəqəmsal idarəetmə həllərinin genişləndirilməsi hələ də prioritet məsələ olaraq qalır.

Araşdırma nəticələrinə əsasən, fasiləsiz enerji təminatının dayanıqlılığının gücləndirilməsi üçün innovasiyaların tətbiqi yalnız texnoloji məsələ deyil, eyni zamanda institusional və normativ yanaşmaların təkmilləşdirilməsini də tələb edir. Dövlət–özəl tərəfdaşlığı mexanizmlərinin inkişafı, enerji sektorunda investisiya mühitinin yaxşılaşdırılması və ixtisaslı kadr potensialının formalaşdırılması innovativ həllərin effektiv reallaşdırılmasının əsas şərtlərindən hesab olunmalıdır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Anvari-Moghaddam, A. (Ed.). (2021). *Microgrids: The Path to Sustainability*. MDPI. https://www.mdpi.com/books/reprint/3746-microgrids?utm_source
2. Azərişiq ASC-nin rəsmi internet saytı. <https://www.azerishiq.az/menu/acilmalar-saidi-saifi>
3. Benbouzid, M., & Muyeen, S. M. (Eds.). (2022). *Microgrids/Nanogrids Implementation, Planning, and Operation*. MDPI. https://mdpi-res.com/bookfiles/book/6269/MicrogridsNanogrids_Implementation_Planning_and_Operation.pdf?v=1766023606
4. Doleski, O. D., & Freunek, M. (Eds.). (2024). *Handbook of Electrical Power Systems: Energy Technology and Management in Dialogue*. De Gruyter. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9783111264271_A49850130/preview-9783111264271_A49850130.pdf?utm_source
5. Fang, J., Liu, J., Wu, H., Chen, J., & Blaabjerg, F. (2024). *Grid-Forming Converters: Principles, Control, and Applications in Modern Power Systems*. Elsevier.
6. Gandhi, V. I. (Ed.). (2023). *Smart Energy Management for Microgrid and Photovoltaic Systems*. MDPI. https://mdpi-res.com/bookfiles/book/6859/Smart_Energy_Management_for_Microgrid_and_Photovoltaic_Systems.pdf?v=1766023640
7. Mohamed, M. A. (Ed.). (2024). *Emerging Technologies towards Energy Cooperation between Smart Grid and Microgrids*. MDPI. https://mdpi-res.com/bookfiles/book/8839/Emerging_Technologies_towards_Energy_Cooperation_between_Smart_Grid_and_Microgrids.pdf?v=1766023756
8. Qi, J. (2023). *Smart Grid Resilience: Extreme Weather, Cyber-Physical Security, and System Interdependency*. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-29290-3?utm_source
9. Srivastava, A. K., Liu, C.-C., & Chanda, S. (2023). *Resiliency of Power Distribution Systems: Concepts, Implementation and Management*. Wiley.
10. Wang, J. (2025). *Power Grid Resilience: Theory and Applications*. Springer.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378530>

КОНСТРУКЦИЯҲОИ АЛГОРИТМӢ ҲАМЧУН АСОСИ АЛГОРИТМИЗАТСИЯ

ЭРГАШЕВА ДИЛҲУЗА БАХРОМОВНА

Донишгоњи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, омӯзгори кафедраи технологияи иттилоотӣ ва методикаи таълими информатика. Љумъурии Тоҷикистон, ш. Бохтар

Конструксияҳои алгоритмӣ, аз ҷумла пайдарпаии амалиётҳо, шохаҳои шартӣ ва такрори даврӣ, асоси концептуалии алгоритмизатсияро таъкил медиҳанд. Таҳаввули онҳо аз принципҳои асосӣ то татбиқи муосир барои ҳалли сохтори масъалаҳо дар илми компютерӣ замина фароҳам меорад. Ин элементҳо на танҳо мантиқи равандҳои ҳисоббарориро муайян мекунанд, балки барои оптимизатсияи таҳияи нармафзор ва моделсозии системаҳои мураккаб имкониятҳо фароҳам меоранд.

Калидвожаҳо: интегратсия, методология, массивҳои, системаҳои, шарт, рекурсивӣ, сохтор, ҳосиятҳои, консепсия, оптимизатсия, даврӣ, пайдарпай, шохақунӣ, операторҳои, блокҳо, конструксияи алгоритмӣ.

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ КАК ОСНОВА АЛГОРИТМИЗАЦИИ

ЭРГАШЕВА ДИЛҲУЗА БАХРОМОВНА

Бохтарский государственный университет имени Носири Хусрава, преподаватель кафедры информационных технологий и методики обучения информатике. Республика Таджикистан, ш. Бохтар

Алгоритмические конструкции, включая последовательность операций, условное ветвление и циклические повторения, представляют собой концептуальный фундамент алгоритмизации. Их эволюция от базовых принципов до современных реализаций создаёт основу для структурированного решения задач в информатике. Эти элементы не только определяют логику вычислительных процессов, но и открывают возможности для оптимизации разработки программного обеспечения и моделирования сложных систем.

Ключевые слова: интеграция, методология, массивы, системы, условие, рекурсивный, структура, свойства, концепция, оптимизация, цикл, последовательность, ветвление, операторы, блоки, алгоритмическая конструкция.

ALGORITHMIC STRUCTURES AS THE BASIS OF ALGORITHMIZATION

ERGASHEVA DILFUZA BAKHROMOVNA

Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav, lecturer at the Department of Information Technologies and Methods of Teaching Computer Science. Republic of Tajikistan, sh. Bokhtar

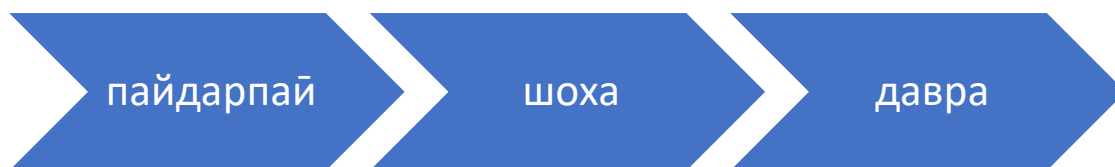
Algorithmic constructs, including sequences of operations, conditional branching, and loop repetitions, represent the conceptual foundation of algorithmization. Their evolution from basic principles to modern implementations provides a framework for structured problem-solving in computer science. These elements not only define the logic of computational processes but also offer opportunities for optimizing software development and modeling complex systems.

Key words: integration, methodology, arrays, systems, condition, recursive, structure, properties, concept, optimization, loop, sequence, branching, operators, blocks, algorithmic structure.

Конструкцияи алгоритмӣ воҳиди сохтори элементарӣ мебошад, ки расмикунонии равандҳои ҳисобкуниро таъмин мекунад. Ташаккули он натиҷаи рушди тӯлонии таърихӣ назарияи алгоритмҳо буд. Ҳамчун элементи бунедии информатика, сохтор имкон медиҳад, ки амалиети асосиро аз татбиқи мушаххас абстракт кунад. Ин барои тавсифи универсалии расмиети ҳисоббарорӣ замина фароҳам меорад. Табиати сохтори сохторҳои алгоритмӣ тафсилоти дақиқи пайдарпаии амалҳоро таъмин мекунад. Ҳар як сохтор мантиқи табдили маълумотро тавассути қоидаҳои қатъии додашуда муайян мекунад. Чунин расмикунонии имкон медиҳад, ки раванди таҳияи алгоритмҳо автоматӣ карда шавад. Ин ба тафсири равандҳои ҳисоббарорӣ мусоидат мекунад.

Дар информатика, сохторҳои алгоритмӣ асоси тарроҳии системаҳои барномавӣ мебошанд, ки муайянкунӣ ва такрористеҳсоли ҳисобҳоро таъмин мекунанд. Истифодаи онҳо дурустии иҷрои амалиетро новобаста аз маълумоти воридотӣ кафолат медиҳад. Тавре ки тадқиқот қайд мекунад, фаҳмиши ин элементҳо барои таҳияи алгоритмҳои муассир муҳим аст. Ин онҳоро ҳангоми сохтани нармафзор санги асосӣ месозад.

Аҳамияти амалии сохторҳои алгоритмӣ дар қоҳиш додани мураккабии таҳия тавассути стандартизатсияи амалиети асосӣ зоҳир мешавад. Муттаҳидсозии сохторҳои элементарӣ имкон медиҳад, ки онҳо ба схемаҳои мураккаб омехта карда шаванд. Ин равиш раванди алгоритмизатсияро ҳангоми ҳалли масъалаҳои гуногуни ҳисоббарорӣ содда мекунад. Тарҳҳои стандартӣ ҳамчун блокҳои сохтмонӣ барои сохтани системаҳои самаранок ва боэътимоди нармафзор хизмат мекунанд.



Расми1: Таснифи сохторҳои асосии алгоритмӣ

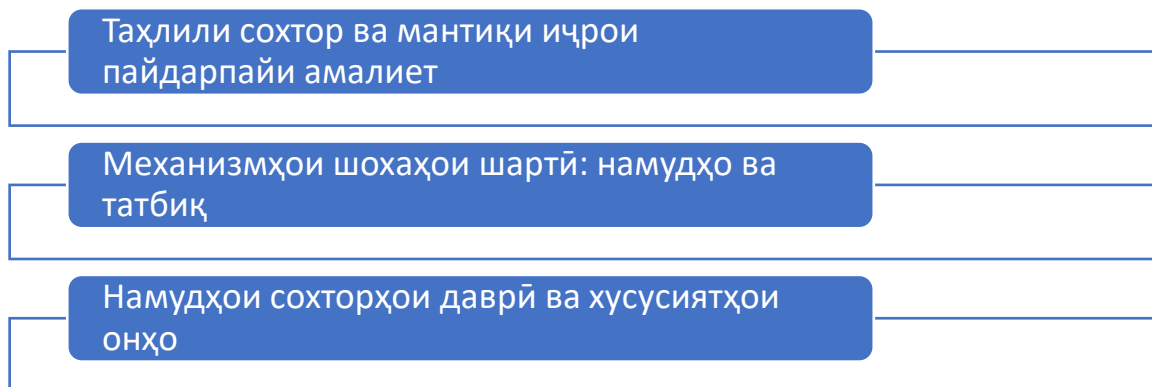
➤ Конструкцияи пайдарпай элементи асосии алгоритмизатсия мебошад, ки иҷрои ҳатти амалиетҳоро таъмин мекунад. Ҳар як фармон қатъиян пас аз анҷоми фармони қаблӣ иҷро карда мешавад, ки занҷири муайяншудаи амалҳоро ташкил медиҳад. Ин сохтор дар асоси аксари алгоритмҳо буда, скелети аслии онҳоро муайян мекунад. Аҳамияти пайдарпай дар кафолати тартиби иҷрои амалиет зоҳир мешавад, ки номуайянии коркарди маълумотро истисно мекунад. Масалан, ҳангоми ҳисоб кардани ифодаҳои арифметикӣ ё коркарди сатрҳои рӯяи пайдарпаии амалиетҳо ба дурустии натиҷа таъсири муҳим мерасонад. Ҳамин тариқ, ин сохтор барои сохтани сохторҳои алгоритмии мураккабтар замина ташкил медиҳад.

➤ Шоҳакунӣ ҳамчун сохтори идоракунӣ ба алгоритмҳо имконияти интихоби байни роҳҳои алтернативии иҷроиро дар асоси шартҳои додашуда ворид мекунад. Ин сохтор тавассути операторҳои гузариши шартӣ амалӣ карда мешавад, ки имкон медиҳад, ки мантиқи кор ба маълумоти воридотии тағйирбанда мутобиқ карда шавад. Бо шарофати шоҳаҳо алгоритмҳо чандирӣ ва қобилияти коркарди сценарияҳои ғайрихаттӣ пайдо мекунанд. Истифодаи гузаришҳои шартӣ махсусан дар вазифаҳои таснифи маълумот, коркарди ҳолатҳои истисноӣ ва идоракунии мантиқи-тиҷоратӣ муҳим аст. Масалан, санҷиши дурустии вуруд ё интихоби режими кории барнома ба механизмҳои шоҳагузорӣ асос ёфтааст. Чунин мутобиқшавӣ доираи истифодаи алгоритмҳоро васеъ карда, онҳоро асбобҳои универсалии ҳалли масъалаҳои гуногун месозад.

➤ Конструкцияҳои даврӣ барои иҷрои такрорӣ гурӯҳи амалиетҳо то расидан ба шартӣ муайян пешбинӣ шудаанд. Давраҳои пеш аз шарт, пас аз шарт ва ҳисобкунакро фарқ мекунанд, ки ҳар кадоми онҳо вобаста ба хусусияти амалҳои такрорӣ истифода мешаванд. Ин сохтор ҳаҷми рамзро ба таври назаррас қоҳиш медиҳад, ки зарурати такрори фармонҳои якхеларо бартараф мекунад. Самаранокӣ сохторҳои даврӣ дар оптимизатсияи захираҳои ҳисобкунӣ ҳангоми коркарди массивҳои маълумот, ҳисобҳои математикӣ ва автоматикунонии амалиети маъмулӣ зоҳир мешавад. Масалан, аз ҳад зиёд кардани

элементҳои рӯйхат е тавлиди пайдарпаии рақамӣ бо харочоти ҳадди ақали хотира ва вақт анҷом дода мешавад. Ин даврҳо дар таҳияи алгоритмҳои истеҳсоли воситаи муҳим месозад.

Ташаккули сохторҳои асосии алгоритмӣ дар солҳои 1950-ум дар доираи корҳо оид ба расмикунони равандҳои ҳисоббарорӣ оғоз ёфт. Дар ин раванд рушди барномасозии сохтори пешниҳод кардаи Эдсгер Дейкстры нақши калидӣ бозид. Ин имкон дод, ки равишҳои эҷоди алгоритмҳо тавассути маҷмӯи маҳдуди сохторҳои идоракунӣ ба низом дароварда шаванд. Ин барои рушди минбаъдаи алгоритмизатсия заминаи назариявӣ гузошт. Таҳаввули сохторҳои асосӣ ба стандартизатсияи онҳо дар синтаксиси забонҳои муосири барномасозӣ оварда расонд. Забонҳо ба монанди C, Java ва Python принсипҳои универсалии иҷроӣ пайдарпай, шохаҳо ва даврҳо амалӣ мекунанд. Ин стандартизатсия интиқоли донишҳои алгоритмиро байни муҳити гуногуни ҳисоббарорӣ таъмин кард. Муттаҳидсозии сохторҳо ба баланд бардоштани эътимодноӣ ва хондани рамзи барномавӣ мусоидат кард.



Расми2: Сохтор ва хосиятҳои конструксияи алгоритмӣ

Конструксияҳои алгоритми пайдарпай бо иҷроӣ хаттии амалиетҳо аз қадами ибтидоӣ то ниҳой хос мебошанд. Ин табиати хатӣ онҳоро блокҳои ибтидоии алгоритмизатсия месозад. Соддагии сохтор беихтиёра ва талаботи ҳадди ақалро ба захираҳои компютерӣ таъмин мекунад. Аз ин рӯ, амалиети пайдарпай барои ташаккули намунаҳои алгоритми мураккабтар асос мебошанд. Нақши бунедии сохторҳои пайдарпай дар ҳузури ҳатмии онҳо дар ҳама гуна системаи алгоритмӣ зоҳир мешавад. Онҳо ҷаҳорҷубаеро ташкил медиҳанд, ки ба он шохаҳо ва даврҳо барои татбиқи мантиқи мураккаб илова карда мешаванд. Ҳатто дар алгоритмҳои рекурсивӣ амалиети асосӣ хусусияти пайдарпайи иҷроӣ нигоҳ медоранд. Чунин универсалӣ аҳамияти калидии онҳоро дар сохтани сохторҳои алгоритми сатҳҳои гуногуни мураккабӣ тасдиқ мекунад.

Муайянкунии сохторҳои пайдарпай иҷроӣ яктарафаи амалиетҳо бо тартиби қатъии муайян қафолат медиҳад. Ин пешгӯишаванда имкон медиҳад, ки натиҷаи кори алгоритмро ҳангоми маълумоти воридотии додашуда дақиқ пешгӯӣ кунад. Ҳар як амалиет дақиқан як маротиба иҷро карда мешавад, ки ин номуайянии раванди ҳисобкуниро истисно мекунад. Ин хусусият барои алгоритмҳое, ки такрори дақиқи натиҷаҳо талаб мекунад, муҳим аст. Тартиби қатъии амалиетҳо раванди санҷиши алгоритмҳо хеле осон мекунад. Сохтори хатӣ имкон медиҳад, ки усулҳои қадам ба қадам санҷиши дурустии иҷро истифода шаванд. Набудани гузаришҳо ва шароитҳо шумораи роҳҳои имконпазири иҷро кам мекунад, ки мураккабии санҷишро коҳиш медиҳад. Ин сохторҳои пайдарпайро элементи боэътимодтарин ҳангоми тарҳрезии системаҳои тасдиқшаванда месозад.

Шартҳои бинарӣ механизми бунедии шохагирро дар алгоритмизатсия ифода мекунад. Онҳо тавассути операторҳои навъи IF-THEN-ELSE амалӣ карда мешаванд, ки интиҳоби байни ду роҳи алтернативии иҷроӣ барномаро таъмин мекунад. "Шартҳои бинарӣ, ки аз ҷониби операторҳои навъи IF-THEN-ELSE ифода карда мешаванд, шакли элементарӣ мебошанд, ки интиҳоби байни ду роҳи алтернативии иҷроӣ барномаро амалӣ

мекунад [2, с.100]". Ин сохтор имкон медиҳад, ки шароити оддии мантикиро коркард карда, барои ҳалли алгоритмии мураккабтар асос ташкил кунад.

Шоҳаҳои сершумор имкониятҳои мантикии алгоритмҳоро аз ҳисоби сохторҳои каскадӣ васеъ мекунад. Конструксияҳои навъи IF-ELSE IF санҷиши пайдарпайи якчанд шартҳоро таъмин мекунад, ки ҳангоми иҷрои шартӣ аввалини воқеъи блоку мувофиқи рамзро ҷаъл мекунад. Ин равиш чандирӣи алгоритмҳоро ҳангоми кор бо сценарияҳои бисерқабатаи қабули қарорҳо баланд мебардорад. Аммо, зиёд кардани шумораи санҷишҳо метавонад хондани рамзро коҳиш диҳад ва оптимизатсияро талаб кунад. Алтернативаи сохторҳои каскадӣ шоҳаҳои чадвалӣ мебошанд, ки аз тарафи операторҳои SWITCH-CASE амалӣ карда мешаванд. Онҳо дар сурати мавҷуд будани шумораи зиёди шароити мутақобилан истиснокунанда, ки ба арзиши як тағиребанда асос ефтаанд, самаранок мебошанд. Формати чадвал дарки визуалии мантиқи интихобро осон мекунад ва эҳтимолияти хатогиҳоро ҳангоми тағир додан коҳиш медиҳад. Чунин сохторҳо самаранокии баландро дар вазифаҳои тасниф ва коркарди ҳолатҳои дискретии система нишон медиҳанд. Истифодаи амалии сохторҳои шартӣ доираи васеи вазифаҳои коркарди сценарияҳои ғайрихаттиро фаро мегирад. "Истифодаи амалии сохторҳои шартӣ нақши муҳими онҳоро дар коркарди сценарияҳои ғайрихаттӣ ва ҳолатҳои истисноӣ нишон медиҳад [9, с.3]". Онҳо ҳангоми тасдиқи маълумоти воридотӣ, коркарди истисноҳо ва татбиқи рафтори мутобиқсозии системаҳои барномавӣ ивазнашавандаанд. Истифодаи самаранокии шоҳаҳо имкон медиҳад, ки алгоритмҳои устувор эҷод карда шаванд, ки ба шароити тағйиребандаи иҷро дуруст воқуниш нишон диҳанд.

Конструксияҳои даврӣ бо шартӣ пешакӣ пеш аз иҷрои ҷисми давра санҷида мешаванд. Ин равиш беҳатари амалиетро таъмин мекунад, ба истиснои имконияти иҷрои итерасияҳо дар шароити ибтидоии қонеънашуда. Чунин механизм махсусан дар масъалаҳои коркарди маълумот бо арзишҳои сарҳадии номаълум муҳим аст. Истифодаи он хатари хатогиҳои вақти иҷрошударо кам мекунад. Истифодаи давраҳои пеш аз шарт дар ҳолатҳои паҳн шудааст, ки пеш аз коркард тасдиқи параметрҳои вурудро талаб мекунад. Масалан, ҳангоми хондани маълумот аз файл пеш аз расидан ба охири ҷараён, санҷиши пешакӣ қўшиши хондани элементҳои мавҷуд набударо пешгирӣ мекунад. Баръакси сохторҳои пас аз шарт, ин намуди давраҳо метавонанд ягон итерасияро иҷро накунад, ки ба талаботи бисер масъалаҳои алгоритмӣ мувофиқат мекунад. Давраҳои пас аз шарт ҳадди аққал як маротиба иҷро кардани бадани давраро қафолат медиҳанд, зеро санҷиши шарт пас аз ба итмом расидани итерасия амалӣ карда мешавад. Ин хусусият барои алгоритмҳое, ки коркарди аввалияи ҳатмии маълумотро новобаста аз ҳолати онҳо талаб мекунад, муҳим аст. Намунаи маълумии истифодаи вазифаҳои ворид кардани иттилоот бо тасдиқи минбаъда мебошад, ки дар он ҳамкориҳои ибтидоӣ бо корбар зарур аст.

Давраҳои параметрӣ бо ҳисобкунак ҳангоми коркарди диапазони арзишҳои пешакӣ муайяншуда тавассути идоракунии тағйиребандаи индекс самаранок мебошанд. Онҳо кор бо массивҳои маълумот, амалиети матритса ва пайдарпайи рақамиро оптимизатсия мекунад. "Мувофиқи ин стратегия шумораи тасвирҳои таҳлилшаванда дар сатҳи l бо функсияи экспоненсиалии $n_l = n \cdot 4^{-\alpha(l-1)}$, $l = 1$, муайян карда мешавад \dots , L , бо коэффитсиенти $\alpha = (L-1) - 1 \log_4(n/n^*)$ [5, с.53]". Ин мисол истифодаи ҳисобкунакро барои идоракунии чуқурии коркард дар алгоритмҳои биниши компютерӣ нишон медиҳад.

дар асоси сохторҳои асосӣ

барои баланд бардоштани самаранокии ҳалли мушкилот

дар ҷаъолияти таълимӣ ва амалӣ

Расми3: Моделҳои пешниҳодшудаи алгоритмизатсия

Моделҳои пешниҳодшудаи алгоритмизатсия алоқамандии се сохтори асосиро пайгирӣ, шоха ва давра ба системаи ягонаи лоиҳакашӣ расмӣ мекунад. Ин равиш ба системасозии раванди сохтани алгоритмҳо тавассути муайян кардани нақши ҳар як сохтор таъмин мекунад. Модел қоидаҳои композитсияи блокҳои элементарӣ муқаррар карда, барои тарроҳии сохторӣ каркас ташкил мекунад. Ин усул ҳангоми гузаштан аз гузоштани масъала ба татбиқи алгоритми он номуайяниро бартараф мекунад.

Конструксияҳои асосӣ элементҳои сохтории модел мебошанд, ки типизатсияи амалиетро барои сценарияҳои стандартӣ ҳисоббарорӣ таъмин мекунад [9, с.3]. Ҳар як намуди сохтор ба синфи муайяни равандҳои ҳисобкунӣ мувофиқат мекунад: амалиети ҳатфӣ, қабули қарорҳо ҷе амалҳои такрорӣ. Ин имкон медиҳад, ки тарҳрезии алгоритмҳо новобаста аз соҳаи мавзӯ стандартизатсия карда шавад. Модел зарурати таҳияи ҳалли беназирро барои сценарияҳои намунавии коркарди маълумот бартараф мекунад. Типизатсияи амалиетҳо дар асоси сохторҳои асосӣ самаранокии алгоритмизатсияро аз ҳисоби пешгӯишавандагии қарорҳои сохторӣ баланд мебардорад. Ҳар як сохтор дорои хосиятҳои расман муайяни вуруд, баромад ва шароити иҷро мебошад. Ин шаффофияти мантиқи алгоритмро дар ҳама марҳилаҳои таҳияи он таъмин мекунад. Стандартикунонии элементҳои сохторӣ вақти тарроҳиро коҳиш медиҳад ва эҳтимолияти хатогиҳоро ҳангоми ҳамгироии блокҳо коҳиш медиҳад.

Марҳилаи аввали методология декомпозицияи масъала бо ошкор кардани сохторҳои алгоритми бартаридошта мебошад. Таҳлили маълумоти воридотӣ ба шумо имкон медиҳад, ки унсурҳои асосиро муайян кунед: пайдарпай, шохаҳо ҷе давраҳо. Ин раванд ба принципҳои равиши сохторӣ асос ҷфтааст, ки системасозии тарроҳиро таъмин мекунад. Муайянкунии сохторҳо барои алгоритмизатсияи минбаъда замина фароҳам меорад. Дар марҳилаи дуюм композитсияи сохторҳои ҷудошуда ба схемаи ягонаи алгоритмӣ амалӣ карда мешавад. Омезиши элементҳо мувофиқи мантиқи ҳалли масъала бо назардошти ҳамкориҳои онҳо иҷро карда мешавад. Ин равиш хатогиҳои тарроҳиро тавассути сохтори дақиқи раванд кам мекунад. Натиҷа алгоритмест, ки пайдарпаии оптималии амалиетро инъикос мекунад.

Истифодаи шаблонӣ аз сохторҳои санҷидашуда бори маърифатиро ҳангоми таҳияи алгоритмҳо коҳиш медиҳад. Стандартизатсияи қарорҳои намунавӣ имкон медиҳад, ки аз таҳлили зиедатии амалиети оддӣ канорагирӣ карда шавад. Ин ба тамарқуз ба ҷанбаҳои стратегии вазифа мусоидат намуда, раванди тарроҳиро метезонад. Камшавии мураккабӣ маҳсусан ҳангоми ҳалли мушкилоти бисерсоҳавӣ ба назар мерасад. Самаранокии методология бо кам шудани хароҷоти вақт барои сохтани алгоритмҳо тасдиқ карда мешавад. Истифодаи дубораи сохторҳои оптимизатсияшуда натиҷаҳои пешгӯишавандаро таъмин мекунад. Арзиши амалии равиш дар муттаҳидсозии раванди алгоритмизатсия барои масъалаҳои гуногунҷабҳа мебошад. Ин принцип ба консепсияи модел, ки ба сохтори системавӣ равона шудааст, мувофиқат мекунад.

Интегратсияи модели алгоритмизатсия ба барномаҳои таълимӣ бояд ба принципи азхудкунии марҳила ба марҳилаи мавод асос ҷбад. "Интегратсияи модел ба барномаҳои таълимӣ азхудкунии марҳила ба марҳилаи сохторҳои асосиро талаб мекунад ва сипас ба ҳалли комплекси алгоритмӣ мегузарад [9, с.3]". Дар марҳилаи ибтидоӣ ба омӯзиши муфассали сохторҳои асосӣ пайдарпай, шоха ва давраҳо диққат додан мақсаднок аст. Бо азхудкунии принципҳои бунедӣ, вазифаҳо бояд тадриҷан барои якҷоя кардани сохторҳо ҷорӣ карда шаванд, ки ин гузариши ҳамворро ба ҳалли мушкилоти мураккаб таъмин мекунад.

Дар муҳити касбӣ ҷорӣ кардани модели алгоритмизатсия тавсия дода мешавад, ки аз расмикунонии вазифаҳои намунавии соҳаи мушаххаси фаннӣ оғоз карда шавад. Ин ба мо имкон медиҳад, ки намунаҳои алгоритми такроршавандаро ҷудо кунем ва қолабҳои ягонаи сохторҳоро таҳия кунем. Таъсиси китобхонаи шаблонҳо вақти таҳияи алгоритмҳоро коҳиш медиҳад ва эътимоднокии онҳоро тавассути истифодаи қарорҳои санҷидашуда баланд

мебардорад. Ин равиш махсусан дар соҳаҳои самаранок аст, ки коркарди миқдори зиёди маълумот ба автоматикунонии амалиёти мунтазамро талаб мекунад.

Таҳлили гузаронидашуда нақши бунедии сохторҳои асосии алгоритмии пайдарпай, шоха ва даврҳои ҳамчун асоси сохтори алгоритмизатсия тасдиқ кард. Рушди таърихӣ ва таснифи онҳо универсалии истифодаи онҳо барои сохтани равандҳои ҳисоббарории пешгуишаванда нишон медиҳад. Таҳқиқи хосиятҳои ин элементҳои қобилияти онҳо барои таъмини беайбии ҳалли алгоритмӣ дар соҳаҳои гуногуни мавзӯи ошкор кард. Таҳлили назариявии хусусиятҳои сохтори сохторҳои имкон дод, ки барои таҳияи модели интегралӣ алгоритмизатсия заминаи методологӣ гузошта шавад. Муайян карда шудааст, ки ҳар як сохтор дорои функсияи беназир аст, ки ҳангоми омезиши дуруст барои ҳалли масъалаҳои каркаси бозғаймонро ташкил медиҳад. Ин фарзияи ибтидоӣ дар бораи зарурати муносибати системавӣ ба омӯзиши элементҳои алгоритмӣ тасдиқ мекунад.

Интегралӣ сохторҳои асосӣ ба схемаҳои мураккаби алгоритмӣ таъсири синергетикӣ ҳангоми ҳалли масъалаҳои бисерқабата, алахусус дар соҳаи коркарди маълумот нишон дод. Омезиши амалиёти пайдарпай бо мантиқи шартӣ ва равандҳои даврӣ имкон дод, ки маҳдудиятҳои истифодаи ҷудогонаи унсурҳои баргараф карда шаванд. Намунаҳои амалия нишон доданд, ки ҳангоми нигоҳ доштани пуррагии функционалии алгоритмҳои зиёдаии рамз коҳиш ёфтааст. Ин имкониятҳо барои эҷоди ҳалли самаранокӣ нармафзор мекушояд.

АДАБИЁТ

1. Агарева О.Ю., Селиванов Ю.В. Математическая логика и теория алгоритмов. — Москва: МАТИ, 2011. — 80 с.
2. Аляев Ю.А., Козлов О.А. Алгоритмизация и языки программирования Pascal, C++, Visual Basic: Учебно-справочное пособие. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 320 с.
3. Грикень В.Г., Хинкель Е.Р. Оценка вычислительной сложности алгоритмов поиска пути // 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. — Минск, 2022. — С. 90–91.
4. Демуськов А.Б., Каморникова Т.Я. Структуры и алгоритмы обработки данных. — Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. — 34 с.
5. Ланге М.М., Ганебных С.Н., Ланге А.М. Об эффективности иерархического алгоритма поиска приближенного ближайшего соседа в заданном наборе изображений // Информатика и её применения. — 2017. — №3. — С. 51–59.
6. Лащенко А.П. Основы дискретной математики и теории алгоритмов. — Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2014.
7. Мубаракзянов Р.Г., Абрамский М.М. Методическое пособие по предмету «Алгоритмы и структуры данных в построении и анализе СБИС». — Казань: Казан. ун-т, 2014. — 58 с.
8. Назаренко П.А. Алгоритмы и структуры данных. — Самара: ПГУТИ, 2015. — 196 с.
9. Столяров А. В. Программирование: введение в профессию. Т.1: Азы программирования. — Москва: ДМК Пресс, 2021. — 656 с.
10. Фофанов О.Б. Алгоритмы и структуры данных. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 126 с.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378554>

ПРОГРАММИРОВАНИЕ КАК ИСКУССТВО МЫШЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ЭРГАШЕВА ДИЛФУЗА БАХРОМОВНА

Бохтарский государственный университет имени Носири Хусрава, преподаватель
кафедры информационных технологий и методики обучения информатике. Республика
Таджикистан, ш. Бохтар

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению программирования не только как технического процесса написания кода, но прежде всего как особой формы логического и образного мышления. В материале раскрывается сущность программирования как процесса проектирования алгоритмов, анализа данных и построения целостной модели работы программы ещё до её реализации на языке программирования. Особое внимание уделяется различию между механическим набором операторов и осмысленным пониманием логики работы программы. В статье рассматриваются основные подходы к анализу и пониманию программ: исторический, логический и формальный анализ. Поясняется роль стандартных программных контекстов, алгоритмических шаблонов, операций присваивания, циклов, структур данных и методов отладки. На примерах программных фрагментов демонстрируются принципы поиска максимальных и минимальных значений, накопления данных, работы с массивами, сортировки и организации циклических процессов. Отдельное внимание уделяется вопросам проектирования программного обеспечения: нисходящему, восходящему и структурному программированию, модульному подходу, а также взаимосвязи алгоритмов и структур данных. Подчеркивается значение интуиции, воображения и способности программиста представлять программу как единую динамическую систему. Материал ориентирован на студентов, начинающих программистов и всех, кто изучает основы алгоритмизации и разработки программного обеспечения. Статья формирует представление о программировании как о сочетании строгой логики, математического анализа и творческого подхода к решению задач.

Ключевые слова: программирование, алгоритм, логическое мышление, анализ программ, отладка программ, структурное программирование, нисходящее проектирование, модульное программирование, циклы, массивы, переменные, присваивание, программные контексты, математическая индукция, структуры данных, алгоритмы сортировки, проектирование программ, язык программирования, анализ алгоритмов, программная логика, разработка программного обеспечения, формальное мышление, моделирование алгоритмов, тестирование программ, программные конструкции.

PROGRAMMING AS AN ART OF THINKING AND DESIGN

ERGASHEVA DILFUZA BAKHROMOVNA

Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav, lecturer at the Department of
Information Technologies and Methods of Teaching Computer Science. Republic of Tajikistan,
sh. Bokhtar

Abstract. This article examines programming not merely as a technical process of writing code, but primarily as a specific form of logical and conceptual thinking. The material reveals the essence of programming as a process of designing algorithms, analyzing data, and constructing a complete model of program behavior before its implementation in a programming language. Particular attention is paid to the distinction between the mechanical writing of operators and the meaningful understanding of program logic. The article discusses the main approaches to program analysis and comprehension: historical, logical, and formal analysis. It explains the role of

ОФ "Международный научно-исследовательский центр "Endless Light in Science"

standard programming contexts, algorithmic patterns, assignment operations, loops, data structures, and debugging methods. Using examples of code fragments, the principles of finding maximum and minimum values, data accumulation, array processing, sorting algorithms, and organization of cyclic processes are demonstrated. Special attention is devoted to software design issues, including top-down, bottom-up, and structured programming approaches, modular design, and the relationship between algorithms and data structures. The article emphasizes the importance of intuition, imagination, and the programmer's ability to perceive a program as an integrated dynamic system. The material is intended for students, beginner programmers, and everyone studying the fundamentals of algorithms and software development. The article presents programming as a combination of strict logic, mathematical analysis, and creative problem-solving.

Keywords: *programming, algorithm, logical thinking, program analysis, debugging, structured programming, top-down design, modular programming, loops, arrays, variables, assignment operation, programming contexts, mathematical induction, data structures, sorting algorithms, software design, programming language, algorithm analysis, program logic, software development, formal thinking, algorithm modeling, software testing, programming constructs.*

Многие начинающие программисты воспринимают программирование как простой процесс ввода команд в компьютер. Кажется, будто достаточно выучить синтаксис языка, запомнить несколько операторов и научиться запускать программу. Однако подобное представление крайне поверхностно. Настоящее программирование начинается не на клавиатуре и не в редакторе кода, а в сознании человека. Программа сначала возникает как идея, как модель процесса, как логическая конструкция, и лишь затем переносится на язык программирования. Компьютер никогда не думает вместо программиста. Он лишь с огромной скоростью выполняет строго определённую последовательность действий. Поэтому качество программы зависит не столько от языка программирования или среды разработки, сколько от способности человека мыслить алгоритмически, анализировать и представлять процесс выполнения программы ещё до появления готового кода.

Программа существует сначала в голове программиста поэтому, когда опытный программист смотрит на код, он видит не набор символов, а процесс. Он мысленно наблюдает движение данных, изменение переменных, работу циклов и условий. Новичок же обычно видит лишь множество непонятных операторов. Например, следующий фрагмент кода:

```
int max = A [0];
for (int i = 1; i < n; i++) {
    if(A[i] > max)
        max = A[i];
}
```

для начинающего программиста представляет собой последовательность непонятных операций. Опытный программист же сразу понимает: алгоритм ищет максимальный элемент массива. Именно поэтому умение читать программы часто важнее умения их писать. Программист должен научиться распознавать знакомые конструкции так же, как человек распознаёт слова и фразы родного языка.

Особенность программирования заключается в том, что оно требует особого типа мышления — формально-логического. Компьютер не понимает смысла действий. Он не обладает интуицией, здравым смыслом или воображением. Всё это обязан обеспечить человек. Любая программа представляет собой формальную систему. Если алгоритм содержит ошибку, компьютер выполнит её так же точно, как и правильную команду. Например:

```
a = 10
b = 0
print (a / b)
```

Компьютер не понимает, что деление на ноль невозможно. Он просто попытается выполнить действие и выдаст ошибку. Поэтому программист обязан заранее представлять все возможные ситуации, в которых будет работать программа.

Любая программа предназначена для получения определённого результата. В этом смысле программа похожа на математическую теорему. Теорема утверждает наличие некоторого свойства для множества объектов. Программа делает то же самое: она преобразует входные данные в результат, удовлетворяющий определённым условиям. Существует несколько способов анализа программ:

❖ Исторический подход основан на пошаговом наблюдении за работой программы. Пример:

```
int A [5] = {3, 7, 2, 9, 5};
int s = A [0];
for (int i = 0; i < 5; i++) {
    if(A[i] > s)
        s = A[i];
}
```

Если записывать значение переменной *s* после каждого шага, станет видно, что она постоянно *хранит* максимальный элемент массива.

Шаг	A[i]	s
0	3	3
1	7	7
2	2	7
3	9	9
4	5	9

Такой подход помогает понять работу программы, однако он эффективен только для относительно простых алгоритмов.

❖ Логический анализ и стандартные контексты

Опытный программист редко анализирует программу посимвольно. Он распознаёт готовые шаблоны — стандартные программные контексты. Например:

- поиск максимума;
- подсчёт количества элементов;
- накопление суммы;
- сортировка;
- поиск элемента.

Фрагмент: `count++`;

почти всегда означает подсчёт количества событий.

А конструкция: `sum += x`

является классическим примером накопления суммы.

Из подобных стандартных фрагментов строится большая часть программ. Именно комбинация таких конструкций создаёт всё разнообразие алгоритмов.

❖ Присваивание как память программы

Операция присваивания кажется простой: $x = x + 1$;

Но именно она превращает программу из механического набора действий в систему, способную “запоминать” события.

Переменные хранят историю выполнения программы:

- сколько раз произошло событие;
- какой элемент был найден;
- какой максимум встретился ранее;
- выполнялось ли определённое условие.

```
Например:  
found = False  
for x in A:  
    if x < 0:
```

```
        found = True
```

Здесь переменная `found` играет роль признака. Она хранит информацию о том, встретился ли отрицательный элемент.

❖ Циклы и математическая индукция

Большинство алгоритмов основано на повторении действий. Поэтому важнейшую роль в программировании играют циклы. Любой цикл имеет:

1. начальное состояние;
2. условие продолжения;
3. изменение параметров;
4. условие завершения.

Схематически это выглядит так:

Начало



Проверка условия



Выполнение действий



Изменение параметров



Возврат к условию

Корректность циклов часто объясняется методом математической индукции. Если некоторое свойство сохраняется после каждого шага цикла, то оно будет справедливо для всего алгоритма. Например, в алгоритме поиска максимума переменная `max` после каждого шага хранит максимальный элемент среди уже просмотренных.

❖ Работа с массивами как движение

Очень полезно представлять работу программы образно. Массив можно воспринимать как пространство, по которому перемещаются индексы.

```
for (int i = 0; i < n; i++)
```

Индекс `i` движется слева направо. В алгоритмах сортировки движение становится сложнее:

- элементы меняются местами;
- перемещаются;
- вставляются;
- сдвигаются.

Например, сортировка вставками работает так:

1. берётся очередной элемент;
2. сравнивается с предыдущими;
3. перемещается в нужное место.

Это уже напоминает физическое перемещение объектов.

❖ Проектирование программы

Одна из главных трудностей программирования состоит не в написании кода, а в проектировании. Новичок часто начинает писать программу сразу, строка за строкой. Такой подход называется “историческим”. Он приводит к хаотичному коду и множеству ошибок. Опытный программист действует иначе:

1. Определяет цель: что должна делать программа? Например:

- отсортировать массив;
- найти минимальный элемент;

- обработать текст;
- сохранить данные.

2. Создаёт образную модель: Программист представляет процесс выполнения программы как “движущуюся картинку”.

3. Выделяет основные фрагменты:

- циклы;
- условия;
- функции;
- структуры данных.

4. Формализует алгоритм: только после этого появляется код.

Нисходящее проектирование - одно из важнейших принципов структурного программирования — движение от общего к частному. Сначала создаётся общий каркас программы:

Главная задача



Подзадачи



Отдельные действия



Конкретные операторы

Такой подход позволяет:

- лучше контролировать программу;
- упрощать отладку;
- избегать хаотичной структуры.

Отладка как поиск расхождения - многие считают, что написанная программа должна сразу работать правильно. На практике всё иначе. Отладка — это сравнение:

- идеальной программы в голове;
- реальной программы в компьютере.

Ошибка возникает там, где эти две модели начинают расходиться. Для поиска ошибок используются:

- пошаговое выполнение;
- точки останова;
- просмотр значений переменных;
- трассировка.

Несмотря на строгую логику, программирование невозможно без воображения и интуиции поэтому оно является настоящим творчеством. Перед написанием алгоритма программист должен “увидеть” решение:

- представить движение данных;
- понять взаимодействие частей программы;
- мысленно проиграть выполнение алгоритма.

Поэтому программирование одновременно является: наукой, инженерией и искусством.

Настоящее программирование — это не механическое написание кода. Это процесс мышления, анализа и проектирования. Язык программирования — лишь инструмент. Компьютер — лишь исполнитель. Главная работа происходит в сознании программиста. Опытный разработчик умеет:

- видеть программу целиком;
- распознавать стандартные конструкции;
- анализировать взаимодействие алгоритмов;
- проектировать структуру данных и логику одновременно;
- предвидеть ошибки ещё до запуска программы.

Именно поэтому программирование следует изучать не как набор команд, а как особую культуру мышления. Чем глубже человек понимает смысл алгоритмов и процессов, тем более качественные, надёжные и эффективные программы он способен создавать.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Art of Computer Programming / Knuth D. *The Art of Computer Programming*. — Addison-Wesley, 1997–2011.
2. Structure and Interpretation of Computer Programs / Abelson H., Sussman G. *Structure and Interpretation of Computer Programs*. — MIT Press, 1996.
3. Clean Code / Martin R. C. *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*. — Prentice Hall, 2008.
4. Introduction to Algorithms / Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C. *Introduction to Algorithms*. — MIT Press, 2009.
5. Code Complete / McConnell S. *Code Complete*. — Microsoft Press, 2004.
6. The Pragmatic Programmer / Hunt A., Thomas D. *The Pragmatic Programmer*. — Addison-Wesley, 1999.
7. Algorithms / Sedgewick R., Wayne K. *Algorithms*. — Addison-Wesley, 2011.
8. Programming Pearls / Bentley J. *Programming Pearls*. — Addison-Wesley, 2000.
9. Structured Programming / Dahl O.-J., Dijkstra E., Hoare C. *Structured Programming*. — Academic Press, 1972.
10. The Mythical Man-Month / Brooks F. *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. — Addison-Wesley, 1995.
11. Эдсгер Дейкстра. Заметки и статьи по структурному программированию и логике алгоритмов.
12. Дональд Кнут. Работы по анализу алгоритмов и культуре программирования.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378584>

ҲОЛАТ ВА МАСЪАЛАҲОИ БЕХАТАРИИ ИТТИЛООТ ДАР МУАССИСАҲОИ ТАЪЛИМӢ

ЮНУСОВА ШАҲЛО АЮБОВНА

омӯзгори кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва методикаи таълими информатикаи
ДДБ ба номи Носири Хусрав.

Аннотатсия: Мақолаи мазкур ба таҳқиқи масъалаҳои бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ дар шароити рушди ҷомеаи рақамӣ бахшида шудааст. Дар шароити рақамикунони низоми таҳсилот муассисаҳои таълимӣ ба муҳити мураккаби иттилоотӣ табдил ёфта, дар онҳо ҳаҷми зиёди маълумоти шахсӣ, академӣ ва идоракунӣ ҷамъоварӣ, нигоҳдорӣ ва коркард мегардад. Ин раванд, дар баробари афзоиши самаранокии таълим ва идоракунӣ, сатҳи хавфҳо ва таҳдидҳои амнияти иттилоотиро низ зиёд менамояд.

Дар асоси таҳлили назариявӣ ва муқоисавии адабиёти илмӣ олимони тоҷик, рус ва хориҷӣ моҳият, аҳамият ва хусусиятҳои муҳити иттилоотии муассисаҳои таълимӣ баррасӣ гардида, омилҳои асосии осебпазирӣ муайян карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки таҳдидҳои амнияти иттилоот дар муҳити таълимӣ хусусияти бисёрҷанба дошта, омилҳои техникӣ, инсонӣ ва ташкилӣ онҳоро муайян мекунад. Хусусан сатҳи пасти фарҳанги иттилоотӣ, истифодаи инфрасохтори кӯҳна, набудани сиёсати низомноки амният ва истифодаи васеи дастгоҳҳои шахсӣ осебпазирии муҳити таълимро афзоиши медиҳанд. Дар мақола модели мукаммали такмили низоми бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ пешниҳод гардидааст, ки ба ҳамгироии се унсурҳои асосӣ — технология, инсон ва идоракунӣ таъкид мекунад. Асоснок карда шудааст, ки амнияти иттилоот бояд ҳамчун ҷузъи ҷудонашавандаи сифати таҳсил ва идоракунии муассисаи таълимӣ баррасӣ гардад. Модели пешниҳодшуда ташкили сиёсати ягонаи амниятӣ, рушди фарҳанги иттилоотӣ, такмили инфрасохтори техникӣ ва ворид намудани амният ба раванди идоракунии таълимро пешбинӣ менамояд. Натиҷаҳои таҳқиқот аҳамияти назариявӣ ва амалӣ дошта, метавонанд барои такмили сиёсати амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ, рушди муҳити рақамии бехатар ва баланд бардоштани сифати таълими электронӣ истифода шаванд.

Калидвожаҳо: амнияти иттилоотӣ, муассисаҳои таълимӣ, муҳити иттилоотии таълимӣ, низоми иттилоотии таълим, дастрасии иттилоот, ҳифзи маълумоти шахсӣ, сиёсати амнияти иттилоот, идоракунии амнияти иттилоот, фарҳанги иттилоотӣ, таҳдидҳои иттилоотӣ, таҳдидҳои киберӣ, инфрасохтори рақамии таълим, таълими электронӣ, муҳити рақамии таълим.

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

ЮНУСОВА ШАҲЛО АЮБОВНА

соискатель кафедры информационных технологий и методики преподавания
информатики Государственного образовательного учреждения «Бохтарский
Государственный университет имени Носири Хусрава», Республика Таджикистан, г. Бохтар

Аннотация: Данная статья посвящена исследованию проблем информационной безопасности в образовательных учреждениях в условиях развития цифрового общества. В процессе цифровизации системы образования образовательные организации трансформируются в сложную информационную среду, в которой осуществляется сбор, хранение и обработка значительных объемов персональных, академических и управленческих данных. Данный процесс, наряду с повышением эффективности обучения и

управления, сопровождается ростом рисков и угроз информационной безопасности. На основе теоретического и сравнительного анализа научных трудов таджикских, российских и зарубежных исследователей рассмотрены сущность, значение и особенности информационной среды образовательных учреждений, а также выявлены основные факторы ее уязвимости. Показано, что угрозы информационной безопасности в образовательной среде носят многокомпонентный характер и обусловлены техническими, человеческими и организационными факторами. В частности, низкий уровень информационной культуры, использование устаревшей инфраструктуры, отсутствие системной политики безопасности и широкое применение персональных устройств существенно повышают уязвимость образовательной информационной среды. В статье предложена целостная модель совершенствования системы информационной безопасности образовательных учреждений, основанная на интеграции трех ключевых компонентов — технологий, человеческого фактора и управления. Обосновано, что информационная безопасность должна рассматриваться как неотъемлемый компонент качества образования и управления образовательной организацией. Предлагаемая модель предусматривает формирование единой политики безопасности, развитие информационной культуры, модернизацию технической инфраструктуры и интеграцию механизмов безопасности в систему управления образовательным процессом. Результаты исследования обладают теоретической и практической значимостью и могут быть использованы для совершенствования политики информационной безопасности в образовательных учреждениях, формирования безопасной цифровой образовательной среды и повышения качества электронного обучения.

Ключевые слова: информационная безопасность, защита информации, образовательные учреждения, информационная образовательная среда, образовательные информационные системы, безопасность данных, конфиденциальность информации, целостность информации, доступность информации, защита персональных данных, политика информационной безопасности, управление информационной безопасностью, информационная культура, цифровая грамотность, информационные угрозы, киберугрозы, информационные риски, уязвимость информационных систем, цифровая инфраструктура образования.

STATUS AND ISSUES OF INFORMATION SECURITY IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

YUNUSOVA SHAHLO AYUBOVNA

degree seeker of the department of information technology and methods of teaching informatics of the state educational institution "Bokhtar State University named after Nasiri Khusrav". Republic of Tajikistan, Bokhtar

Abstract: This article is devoted to the study of information security issues in educational institutions within the context of the development of the digital society. In the course of the digitalization of the education system, educational institutions are transforming into complex information environments where large volumes of personal, academic, and administrative data are collected, stored, and processed. While this transformation enhances the efficiency of teaching and management processes, it simultaneously leads to an increase in information security risks and threats. Based on a theoretical and comparative analysis of scholarly works by Tajik, Russian, and international researchers, the essence, significance, and specific characteristics of the information environment of educational institutions are examined, and the key vulnerability factors are identified. The study demonstrates that information security threats in the educational environment are multidimensional in nature and determined by technical, human, and organizational factors. In particular, a low level of information culture, the use of outdated infrastructure, the absence of a

systematic security policy, and the widespread use of personal digital devices significantly increase the vulnerability of the educational information environment. The article proposes a comprehensive model for improving the information security system of educational institutions based on the integration of three core components—technology, the human factor, and governance. It is substantiated that information security should be considered an integral component of educational quality and institutional management. The proposed model predicts the development of a unified security policy, the enhancement of information culture, the modernization of technical infrastructure, and the integration of security mechanisms into the management of the educational process. The research findings possess both theoretical and practical significance and may be applied to improve information security policies in educational institutions, to develop a secure digital educational environment, and to enhance the quality of e-learning.

Keywords: *information security, information protection, educational institutions, educational information environment, educational information systems, data security, information confidentiality, information integrity, information availability, personal data protection, information security policy, information security management, information culture, digital literacy, information threats, cyber threats, information risks, information system vulnerabilities, digital infrastructure of education.*

Таҳаввулотӣ босуръати ҷомеаи иттилоотӣ ва воридшавии технологияҳои рақамӣ ба тамоми соҳаҳои фаъолияти инсон боиси он гардидааст, ки муассисаҳои таълимӣ низ тадриҷан ба муҳити рақамӣ табдил ёбанд. Имрӯз мактабҳо ва муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ на танҳо марказҳои интиқоли дониш, балки низомҳои мураккаби иттилоотӣ мебошанд, ки дар онҳо чараёнҳои чамбоварӣ, нигоҳдорӣ, коркард ва интиқоли ҳаҷми зиёди маълумот амалӣ мегардад. Ин маълумот метавонад дорои хусусияти шахсӣ, академӣ, маъмурӣ ва ҳатто стратегӣ бошад. Аз ин рӯ, масъалаи бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ аз доираи техникаи оддӣ берун рафта, ба масъалаи муҳими педагогӣ, идоракунӣ ва иҷтимоӣ табдил ёфтааст. Дар муҳити таълимӣ иттилоот шаклҳои гуногун дорад: маълумоти шахсии хонандагон ва донишҷӯён, натиҷаҳои таҳсил, ҳуҷҷатҳои маъмурӣ, захираҳои таълимӣ, пойгоҳҳои додаҳо, системаҳои идоракунӣ таълим, платформаҳои омӯзиши фосолавлӣ ва шабакаҳои дохилӣ. Ҳар як унсур мазкур метавонад мавриди таҳдид қарор гирад, агар механизми ҳифз ба таври илмӣ ва низомнок ташкил нашуда бошад. Маҳз ҳамин омил боис мегардад, ки бехатарии иттилоот ҳамчун ҷузъи ҷудонашавандаи сифати таҳсил баррасӣ гардад. Чунон ки муҳаққиқи тоҷик Саидов Н.Қ. таъкид менамояд, рақамикунони низоми таҳсилот ҳамзамон имконият ва хатарро ба вучуд меорад, зеро афзоиши дастрасӣ ба иттилоот бе таъмини амният метавонад ба вайроншавии низоми таълим оварда расонад [1, с. 42]. Муҳити таълимӣ аз нигоҳи амнияти иттилоотӣ хусусиятҳои хоси худро дорад. Аввалан, дар он корбарони дорои сатҳи гуногуни саводнокии рақамӣ фаъолият мекунанд: хонандагон, донишҷӯён, омӯзгорон, маъмурият ва кормандони техникаӣ. Дуюм, захираҳои иттилоотӣ аксаран дар шабакаҳои кушода ё нимкушода ҷойгир мешаванд, зеро таълим табиатан ба мубодилаи иттилоот асос меёбад. Сеюм, муассисаҳои таълимӣ одатан дорои инфрасохтори техникаи маҳдуд ва сиёсати амнияти номукамал мебошанд. Ин омилҳо боиси он мегарданд, ки муҳити таълимӣ нисбат ба дигар ташкилотҳо осебпазиртар бошад. Мафҳуми бехатарии иттилоот дар адабиёти илмӣ ба таври гуногун шарҳ дода шудааст, вале моҳияти он дар ҳифзи се хусусияти асосии иттилоот ифода меёбад: махфият, тамомият ва дастрасӣ. Ин се унсур дар муҳити таълимӣ аҳамияти махсус доранд. Масалан, махфияти маълумоти донишҷӯён на танҳо талаботи ахлоқӣ, балки талаботи ҳуқуқӣ мебошад. Тамомияти натиҷаҳои таҳсил кафолати адолати академӣ ба шумор меравад. Дастрасии устувор ба захираҳои таълимӣ бошад, шартӣ муттасилии раванди таълим аст. Муҳаққиқони рус А.А. Шаньгин ва В.П. Мельников таъкид мекунанд, ки нақзи ҳар яке аз ин се хусусият дар муассисаи таълимӣ метавонад ба коҳиши эътимод ба низоми таҳсил оварда расонад [2]. Дар шароити муосир бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ бо рақамикунони идоракунӣ

зич алоқаманд аст. Системаҳои электрони бақайдгирии донишҷӯён, журналҳои электронӣ, платформаҳои таълимии онлайн, пойгоҳҳои додаҳои китобхонаҳо ва муҳитҳои абрӣ ба чузъи чудонашавандаи фаъолияти таълимӣ табдил ёфтаанд. Ин раванд самаранокии идоракунии ва дастрасии донишро афзоиш медиҳад, аммо ҳамзамон сатҳи вобастагӣ аз технология ва хавфи осебпазириро зиёд мекунад. Тадқиқоти муҳаққиқи рус И.В. Роберт нишон медиҳад, ки ҳар қадар сатҳи автоматизатсияи раванди таълим баланд бошад, ҳамон қадар талабот ба сиёсати амнияти иттилоотӣ афзоиш меёбад [3, с. 91]. Дар муҳити таълимӣ таҳдидҳои иттилоотӣ метавонанд табиати техникӣ, инсонӣ ё ташкилӣ дошта бошанд. Таҳдидҳои техникӣ бо ноқомии таҷҳизот, хатогиҳои барномавӣ, вирусҳо ва ҳамлаҳои шабакавӣ алоқаманданд. Таҳдидҳои инсонӣ бошад, аз беэҳтиётӣ корбарон, сатҳи пасти саводнокии рақамӣ ё амалҳои қасдона сар мезананд. Таҳдидҳои ташкилӣ ба набудани сиёсати равшани амниятӣ, назорати нокифоя ва тақсмоти нодурусти ваколатҳо вобаста мебошанд. Муҳаққиқи амрикоӣ Ю. Бишоп қайд мекунад, ки дар муассисаҳои таълимӣ аксари ҳодисаҳои нақзи амният на аз ҳамлаҳои беруна, балки аз омилҳои дохилӣ ба вучуд меоянд. Аҳамияти беҳатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ на танҳо бо ҳифзи маълумот, балки бо ҳифзи муҳити маънавий-педагогӣ низ вобаста аст. Нақзи амният метавонад ба паҳншавии маълумоти бардурӯғ, таҳрифи натиҷаҳои таълим, аз байн рафтани захираҳои илмӣ ё ҳалалдор шудани раванди таълим оварда расонад. Ин ҳолатҳо ба сифати таҳсил, обрӯи муассиса ва эътимоди ҷомеа таъсири манфӣ мерасонанд. Ба таъбири муҳаққиқи тоҷик Қ.Қ. Курбонов, эътимод ба низоми таҳсил танҳо дар сурате устувор менамояд, ки муҳити иттилоотӣ он беҳатар ва боэътимод бошад. Муассисаҳои таълимӣ ҳамчун муҳити иҷтимоӣ низ хусусияти махсус доранд. Дар онҳо равандҳои омӯзиш, тарбия ва иҷтимоикунонӣ ҳамзамон чараён мегиранд. Аз ин рӯ, беҳатарии иттилоот на танҳо масъалаи техникӣ, балки масъалаи фарҳанги иттилоотӣ мебошад. Фарҳанги иттилоотӣ маҷмӯи дониш, малака ва арзишҳои мебошад, ки рафтори беҳатари корбарро таъмин мекунад. Агар корбарон қоидаҳои амниятиро дарк накунанд, ҳатто системаи техникӣ мукамал низ наметавонад амниятро кафолат диҳад. Ба гуфтаи муҳаққиқи рус Н.Д. Угринович, омилҳои инсонӣ дар амнияти иттилоотӣ ҳамеша ҳалқунанда боқӣ менамояд [6, с. 73]. Дар муассисаҳои таълимӣ масъалаи ҳифзи маълумоти шахсӣ аҳамияти хоса дорад. Маълумоти хонандагон ва донишҷӯён дорои маълумоти ҳассос, аз қабилҳои суроға, рақамҳои тамос, натиҷаҳои таҳсил ва маълумоти иҷтимоӣ мебошад. Ҷош шудани чунин маълумот метавонад ба ҳуқуқи шахсӣ ва амнияти иҷтимоӣ онҳо таъсир расонад. Қонунгузори бисёр кишварҳо ҳифзи маълумоти шахсиро вазифаи ҳатмии муассисаҳои таълимӣ менамояд. Муҳаққиқи амрикоӣ Д. Солоу қайд мекунад, ки ҳифзи маълумоти донишҷӯён чузъи масъулияти ахлоқии муассисаи таълимӣ мебошад. Дар шароити рушди таълими фосолаві ва гибриди масъалаи амнияти иттилоот боз ҳам муҳимтар гардидааст. Пандемияи ҷаҳонӣ нишон дод, ки муассисаҳои таълимӣ маҷбуранд дар муддати кӯтоҳ ба муҳити рақамӣ гузаранд. Ин гузариш дар бисёр ҳолатҳо бе омодагии кофӣ амниятӣ анҷом ёфтааст. Платформаҳои онлайн, шабакаҳои хонагӣ ва дастгоҳҳои шахсӣ ба чузъи раванди таълим табдил ёфтанд, ки ин сатҳи назоратро коҳиш дод. Тадқиқоти муҳаққиқони амрикоӣ С. Кент ва Л. Полсен нишон медиҳад, ки дар давраи таълими фосолаві шумораи ҳодисаҳои нақзи амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ ба таври назаррас афзоиш ёфтааст [8, с. 118]. Муҳити таълимӣ инчунин бо мубодилаи фаъоли иттилоот тавсиф мешавад. Омӯзгорон маводҳои таълимиро мубодила мекунанд, донишҷӯён файлҳо ва супоришҳоро ирсол менамоянд, гурӯҳҳои онлайн ташкил мешаванд. Ин мубодила шартӣ муҳими омӯзиш аст, аммо ҳамзамон хатари паҳншавии файлҳои зараровар, маълумоти бардурӯғ ё дастрасии ғайриқонунӣ ба вучуд меорад. Аз ин рӯ, беҳатарии иттилоот бояд тавозуни дуруст байни дастрасӣ ва ҳифзро таъмин намояд. Муҳаққиқи рус Е.Б. Баранова таъкид мекунад, ки муҳити таълимӣ бояд кушода бошад, вале ин кушодагӣ бояд идорашаванда бошад. Аз нигоҳи педагогӣ беҳатарии



иттилоот ба сифати раванди таълим таъсири мустақим дорад. Агар системаҳои электронӣ ноустувор бошанд ё маълумот гум шавад, раванди таълим халалдор мегардад. Агар натиҷаҳои баҳогузорӣ таҳриф шаванд, адолати академӣ аз байн меравад. Агар маълумоти шахсӣ фош гардад, эътимоди донишҷӯён коҳиш меёбад. Ҳамин тариқ, амнияти иттилоотӣ шартӣ муҳими устувори педагогӣ мебошад. Ба гуфтаи муҳаққиқи тоҷик Ҳ.Ҳ. Мирзоев, муҳити иттилоотӣ бехатар омили зарурии рушди таълими рақамӣ аст [10, с. 39]. Ҳамин тавр, бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ падидаи бисёрҷанба мебошад, ки ҷанбаҳои техникӣ, ташкилӣ, ҳуқуқӣ ва педагогиро дар бар мегирад. Он танҳо бо воситаҳои техникӣ таъмин намешавад, балки ба сиёсати идоракунӣ, фарҳанги иттилоотӣ ва сатҳи саводнокии рақамии иштирокдорони раванди таълим вобаста аст. Дар шароити рушди ҷомеаи рақамӣ муассисаҳои таълимӣ бояд на танҳо истеъмолкунандаи технология, балки муҳити амни истифодаи он бошанд.

Тавсеаи муҳити рақамии муассисаҳои таълимӣ, ки дар қисми аввал ҳамчун раванди табиӣ ва ногузири рушди таҳсилот шарҳ дода шуд, ҳамзамон фазои нави осебпазирро ба вучуд овардааст. Агар дар марҳилаҳои ибтидоии информатизатсияи таҳсилот масъалаи асосӣ таъмини дастрасӣ ба технология бошад, дар шароити муосир масъалаи марказӣ таъмини



амнияти истифодаи он ба шумор меравад. Муассисаҳои таълимӣ, ки дорои шабакаҳои компютерӣ, пойгоҳҳои додаҳо, системаҳои идоракунӣ таълим ва платформаҳои онлайн мебошанд, ба низомҳои иттилоотӣ мураккаб табдил ёфтаанд. Ҳар як унсурӣ чунин низом метавонад манбаи хавф гардад, агар идоракунӣ амният ба таври низомнок амалӣ нашавад. Хавфи иттилоотӣ дар муҳити таълимӣ ҳамчун эҳтимолияти ба вучуд омадани ҳолате фаҳмида мешавад, ки дар натиҷаи он махфият, тамомият ё дастрасии иттилоот халалдор мегардад. Таҳдид бошад,

омиле мебошад, ки метавонад чунин ҳолатро ба вучуд орад. Дар муассисаҳои таълимӣ ин ду мафҳум бо ҳам зич алоқаманданд, зеро хусусияти кушода ва интерактивии муҳити таълимӣ худ ба худ эҳтимолияти таҳдидро зиёд мекунад. Ба гуфтаи муҳаққиқи рус А.А. Малюк, муҳити таълимӣ аз сабаби гуногуншаклии корбарон ва дастрасии васеъ ба захираҳои сатҳи баланди хавфи дохилӣ дорад [11, с. 102]. Яке аз гурӯҳҳои асосии таҳдидҳо дар муассисаҳои таълимӣ таҳдидҳои техникӣ ба ҳисоб мераванд. Онҳо бо норасоии таҷҳизот, осебпазирӣ барномаҳо, хатогиҳои танзимоти шабакавӣ ва ҳамлаҳои зараровар алоқаманд мебошанд. Дар бисёр муассисаҳои таълимӣ таҷҳизоти компютерӣ солҳо истифода мешавад ва навсозии саривақтӣ сурат намегирад. Ин ҳолат боиси пайдоиши осебпазирӣ мегардад, зеро системаҳои кӯҳна аксар вақт дигар аз ҷониби истеҳсолкунанда дастгирӣ намешаванд. Муҳаққиқи амрикоӣ У. Сталлингс таъкид мекунад, ки истифодаи нармафзори кӯҳна яке аз омилҳои асосии осебпазирӣ низомҳои иттилоотӣ мебошад. Дар муҳити таълимӣ ин мушкил бештар ба назар мерасад, зеро маҳдудияти маблағгузорӣ имконияти навсозии мунтазамро коҳиш медиҳад. Ба таҳдидҳои техникӣ инчунин вирусҳо, барномаҳои ҷосусӣ ва ҳамлаҳои шабакавӣ дохил мешаванд. Муассисаҳои таълимӣ аксар вақт дорои шабакаҳои кушода мебошанд, ки дар онҳо дастрасии озод ба интернет таъмин мегардад. Донишҷӯён ва хонандагон файлҳои гуногунро аз манбаъҳои беруна боргири мекунанд, ки метавонад боиси воридшавии барномаҳои зараровар гардад. Таdqикоти муҳаққиқони рус В.П. Мельников ва А.А. Шаньгин нишон медиҳад, ки шабакаҳои таълимӣ нисбат ба шабакаҳои корпоративӣ бештар ба ҳамлаҳои зараровар дучор мешаванд, зеро назорати онҳо сусттар аст [2, с. 143]. Гурӯҳи дигари муҳим таҳдидҳои таҳдидҳои инсонӣ мебошанд. Онҳо на аз технология, балки аз рафтори корбарон сар мезананд. Дар муассисаҳои таълимӣ аксари корбарон мутахассиси амнияти иттилоот нестанд ва сатҳи саводнокии рақамии онҳо гуногун аст. Беэҳтиётӣ ҳангоми истифодаи парол, мубодилаи маълумот тавассути васоити ноамн, кушодани файлҳои шубҳанок ё истифодаи дастгоҳҳои шахсии муҳофизатнашуда метавонад ба нақзи

амният оварда расонад. Муҳаққиқи амрикой К. Митник, ки масъалаи муҳандисии иҷтимоиро таҳқиқ кардааст, қайд мекунад, ки инсон заъифтарин ҳалқаи низоми амният мебошад [13, с. 37]. Ин андеша барои муҳити таълимӣ махсусан мувофиқ аст, зеро дар он шумораи зиёди корбарони ҷавон фаъолият мекунад. Таҳдидҳои инсонӣ метавонанд қасдона ё ғайриқасдона бошанд. Амалҳои ғайриқасдона бештар ба нодонӣ ё беэҳтиётӣ вобастаанд. Масалан, омӯзгор метавонад пароли худро ба ҳамкор диҳад, донишҷӯ метавонад маълумоти шахсии худро дар платформаи кушода ҷойгир намояд ё корманди маъмурӣ метавонад файлҳои муҳимро бе нусхаи эҳтиётӣ нест кунад. Амалҳои қасдона бошад, бо дастрасии ғайриқонунӣ, тағйири маълумот ё дуздии иттилоот алоқаманданд. Гарчанде чунин ҳолатҳо камтар ба назар мерасанд, онҳо зарари чиддӣ мерасонанд. Ба гуфтаи муҳаққиқи рус И.В. Роберт, хавфи дохилӣ дар муассисаҳои таълимӣ аксаран аз ҷониби шахсоне ба вучуд меояд, ки ҳуқуқи дастрасӣ доранд. Таҳдидҳои ташкилӣ низ дар муҳити таълимӣ нақши муҳим доранд. Онҳо бо набудани сиёсати равшани амниятӣ, тақсимои нодурусти ваколатҳо ва назорати нокифоя вобаста мебошанд. Дар бисёр муассисаҳои таълимӣ қоидаҳои истифодаи системаҳои иттилоотӣ ба таври расмӣ муайян нашудаанд. Корбарон намедонанд, ки кадом маълумотро чӣ гуна нигоҳ доранд, кӣ ба кадом захира дастрасӣ дорад ва дар ҳолати ҳодисаи амниятӣ чӣ бояд кард. Муҳаққиқи тоҷик Н.Қ. Саидов таъкид мекунад, ки сиёсати амниятии муассисаи таълимӣ бояд қисми сиёсати умумии идоракунии бошад, на ҳуччати рамзӣ. Особпазирии муҳити таълимӣ инчунин бо истифодаи дастгоҳҳои шахсӣ дар раванди таълим афзоиш меёбад. Имрӯз донишҷӯён ва омӯзгорон ноутбук, планшет ва телефонҳои шахсиро барои омӯзиш истифода мебаранд. Ин дастгоҳҳо ба шабакаҳои муассиса пайваст мешаванд, аммо сатҳи муҳофизати онҳо гуногун аст. Агар дастгоҳи шахсӣ бо вирус сироят ёбад, он метавонад ба тамоми шабака таҳдид кунад. Муҳаққиқи амрикой Э. Спэффорд қайд мекунад, ки сиёсати «дастгоҳи шахсӣ дар кор» (BYOD) дар сурати набудани назорати амниятӣ сатҳи хавфро зиёд мекунад [14, с. 59]. Дар муассисаҳои таълимӣ чунин сиёсат аксар вақт ғайрирасмӣ амал мекунад. Таҳдидҳои иттилоотӣ дар муассисаҳои таълимӣ метавонанд ба намудҳои гуногуни зарар оварда расонанд. Яке аз онҳо гумшавии маълумот мебошад. Агар пойгоҳи додаҳои донишҷӯён ё натиҷаҳои таҳсил аз байн равад, барқарорсозии он мушкил ё ғайриимкон мегардад. Дигар намуди зарар таҳрифи маълумот аст. Тағйири ғайриқонунии баҳоҳо, ҳуччатҳои академӣ ё маълумоти маъмурӣ метавонад адолати таълимиро халалдор намояд. Ҳамчунин фошшавии маълумоти шахсӣ метавонад ба обрӯи муассиса ва ҳуқуқи донишҷӯён таъсири манфӣ расонад. Муҳаққиқи рус Н.Д. Угринович таъкид мекунад, ки зарари иттилоотӣ дар муҳити таълимӣ бештар хусусияти иҷтимоӣ дорад. Дар муҳити таълимӣ таҳдидҳои беруна низ ҷой доранд. Онҳо аз ҳамлаҳои киберӣ, дастрасии ғайриқонунӣ аз интернет ва фаъолияти гурӯҳҳои зараровар сар мезананд. Муассисаҳои таълимӣ аксар вақт ҳадафи ҳамлаҳо мешаванд, зеро онҳо дорои маълумоти арзишманд ва сатҳи муҳофизати нисбатан паст мебошанд. Тадқиқоти муҳаққиқони амрикой С. Кент ва Л. Полсен нишон медиҳад, ки ҳамлаҳо ба муассисаҳои таълимӣ аксаран бо мақсади дастрасӣ ба маълумоти шахсӣ ё истифодаи шабака барои ҳамлаҳои минбаъда анҷом дода мешаванд. Хавфҳои амниятии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ инчунин ба равандҳои педагогӣ таъсир мерасонанд. Агар платформаи таълимӣ вайрон шавад ё дастрасӣ қатъ гардад, раванди омӯзиш халалдор мешавад. Агар донишҷӯён ба амниятии система эътимод надошта бошанд, онҳо аз истифодаи технология худдорӣ мекунад. Агар натиҷаҳои баҳогузорӣ таҳриф шаванд, адолати академӣ зери шубҳа меравад. Ҳамин тарик, таҳдидҳои иттилоотӣ ба сифати таҳсил таъсири мустақим доранд. Ба гуфтаи муҳаққиқи тоҷик Ҳ.Ҳ. Мирзоев, устувории муҳити рақамии таълимӣ шартӣ муҳими самаранокии омӯзиши электронӣ мебошад. Дар таҳлили хавфҳо бояд хусусияти иҷтимоии муҳити таълимӣ низ ба назар гирифта шавад. Муассисаҳои таълимӣ муҳити эътимод мебошанд, ки дар он мубодилаи озоди дониш ба роҳ монда шудааст. Ин хусусият, ки аз нигоҳи педагогӣ мусбат аст, аз нигоҳи амниятӣ метавонад особпазирӣ эҷод кунад. Корбарон ба ҳамдигар бовар мекунад, паролиро мубодила мекунад ё файлҳоро бе санҷиш ирсол менамоянд. Муҳаққиқи рус Е.Б. Баранова таъкид

мекунад, ки фарҳанги эътимод дар муҳити таълимӣ бояд бо фарҳанги амният тавозун дошта бошад. Ҳамин тавр, таҳлили хавфҳо ва таҳдидҳои амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ нишон медиҳад, ки онҳо хусусияти мураккаб ва бисёрҷанба доранд. Онҳо аз омилҳои техникӣ, инсонӣ ва ташкилӣ сар мезананд ва метавонанд ба раванди таълим, идоракунии ва муҳити иҷтимоӣ таъсир расонанд. Муассисаҳои таълимӣ аз сабаби кушодагӣ, гуногуншаклии корбарон ва маҳдудияти захираҳо нисбат ба дигар ташкилотҳо осебпазиртаранд.

Таҳлили моҳият, аҳамият ва таҳдидҳои амнияти иттилоот дар муҳити таълимӣ, ки дар қисмҳои пешин баррасӣ гардид, нишон медиҳад, ки масъалаи мазкур танҳо бо тадбирҳои ҷузъӣ ҳал намешавад. Осебпазирии муҳити таълимӣ аз хусусияти системавии он сарчашма мегардад, бинобар ин тақмили амният низ бояд хусусияти низомнок ва ҳамаҷониба дошта бошад. Муассисаи таълимӣ ҳамчун низоми иҷтимоӣ-техникӣ аз унсурҳои инсонӣ, технологӣ ва идоракунии иборат аст. Агар яке аз ин унсурҳо номукамал бошад, амнияти умумии муҳит ҳалалдор мегардад. Аз ин рӯ, зарурати таҳияи модели мукамали бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ ба миён меояд, ки тамоми ҷанбаҳои фаъолияти онҳоро фаро гирад. Модели тақмили низоми бехатарии иттилоот дар муҳити таълимӣ пеш аз ҳама ба принсипи ҳамоҳангии се унсур асосӣ таъна мекунад: технология, инсон ва идоракунии. Ин се унсур дар ҳамбастагӣ амнияти воқеиро таъмин менамоянд. Агар амният танҳо ба воситаҳои техникӣ асос ёбад, бе тағйири рафтори корбарон натиҷаи устувор ба даст намеояд. Агар танҳо омӯзиши корбарон сурат гирад, вале инфрасохтор осебпазир бошад, низом ҳифз намешавад. Агар сиёсати идоракунии номукамал бошад, ҳатто технология ва дониш низ самаранок намегарданд. Ба гуфтаи муҳаққиқи рус В.П. Мельников, амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ падидаи комплексӣ мебошад, ки танҳо дар ҳамгироии омилҳои амалӣ мегардад [2, с. 221]. Самти аввалини тақмили амният ба ташкили сиёсати ягонаи амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ вобаста аст. Сиёсати амният маҷмӯи қоидаҳо, меъёрҳо ва тартиботест, ки истифодаи захираҳои иттилоотиро танзим мекунад. Дар бисёр муассисаҳои таълимӣ чунин сиёсат ба таври расмӣ вучуд надорад ё танҳо ҳуҷҷати умумӣ мебошад. Дар ҳолате ки сиёсати амният ба раванди идоракунии ворид карда шавад, он метавонад рафтори корбаронро низ танзим намояд. Муҳаққиқи тоҷик Н.Қ. Саидов таъкид мекунад, ки сиёсати амнияти муассисаи таълимӣ бояд бо сиёсати рушди рақамикунони он ҳамоҳанг бошад. Ин маънои онро дорад, ки ҳар як ташаббуси рақамӣ бояд аз нигоҳи амният арзёбӣ гардад. Самти дуюм ба рушди фарҳанги амнияти иттилоотӣ дар муҳити таълимӣ дахл дорад. Таҳлилҳои нишон доданд, ки аксари таҳдидҳо бо омилҳои инсонӣ алоқаманданд. Аз ин рӯ, баланд бардоштани сатҳи саводнокии рақамӣ ва фарҳанги амниятӣ дар байни омӯзгорон, донишҷӯён ва кормандон аҳамияти ҳалкунанда дорад. Фарҳанги амният на танҳо дониш дар бораи қоидаҳои техникӣ, балки муносибати масъулоне ба иттилоот мебошад. Корбар бояд дарк намояд, ки иттилоот арзиш дорад ва ҳифзи он масъулияти умумӣ аст. Ба гуфтаи муҳаққиқи рус Н.Д. Угринович, рафтори бехатар дар муҳити рақамӣ натиҷаи тарбия ва омӯзиши мунтазам аст. Аз ин рӯ, омӯзиши амнияти иттилоот бояд ба ҷузъи барномаҳои таълимӣ табдил ёбад. Самти сеюм ба тақмили инфрасохтори техникӣ амниятӣ алоқаманд аст. Гарчанде амният танҳо ба техника асос намеёбад, бе инфрасохтори муосир низ таъмин намешавад. Муассисаҳои таълимӣ бояд системаи муҳофизати шабакавӣ, нусхаҳои эҳтиётӣ маълумот, назорати дастрасӣ ва навсозии мунтазами нармафзорро таъмин намоянд. Ин тадбирҳо на танҳо барои пешгирии ҳамлаҳо, балки барои устувории раванди таълим заруранд. Муҳаққиқи амрикоӣ У. Сталлингс қайд мекунад, ки устувории инфрасохтори иттилоотӣ шартӣ асосии амнияти низом мебошад [12, с. 268]. Дар муҳити таълимӣ ин устуворӣ бо муттасилии раванди омӯзиш мустақиман алоқаманд аст. Дар модели пешниҳодшуда амнияти иттилоот ҳамчун ҷузъи идоракунии муассисаи таълимӣ баррасӣ мегардад. Ин маънои онро дорад, ки масъулияти амният танҳо ба шӯъбаи техникӣ вогузор намешавад, балки ба тамоми сохтори идоракунии паҳн мегардад. Роҳбарият бояд амниятро қисми сифати таҳсил донад. Агар амният ба сатҳи стратегӣ бардошта шавад, он дар тамоми

қарорҳои идоракунии инъикос меёбад. Муҳаққиқи тоҷик Қ.Қ. Қурбонов таъкид мекунад, ки идоракунии муассисаи таълимӣ дар шароити рақамикунонӣ бояд идоракунии муҳити иттилоотиро низ дар бар гирад. Модели такмили амният инчунин ба принсипи пешгирӣ таъя мекунад. Дар бисёр ҳолатҳо муассисаҳои таълимӣ танҳо баъд аз ҳодисаи амниятӣ чора меандешанд. Дар ҳоле ки амнияти самаранок бояд ба пешгирии хавфҳо равона шавад. Пешгирӣ аз арзёбии мунтазами хавфҳо, санчиши осебпазирӣ ва омӯзиши корбарон оғоз мегардад. Муҳаққиқи амрикоӣ Э. Спэффорд таъкид мекунад, ки амнияти муассир пеш аз ҳама амнияти пешгирикунанда аст [14, с. 103]. Барои муҳити таълимӣ ин маънои онро дорад, ки амният бояд қисми фаъолияти ҳаррӯза гардад, на танҳо чорабиниҳои мавсимӣ. Дар шароити рушди таълими рақамӣ ва фосилавӣ модели амният бояд муҳити берун аз муассисаро низ фаро гирад. Имрӯз раванди таълим танҳо дар бинои муассиса сурат намегирад. Донишҷӯён аз хона, дастгоҳҳои шахсӣ ва шабакаҳои гуногун истифода мекунанд. Аз ин рӯ, амният бояд ба сатҳи корбар интиқол ёбад. Ин раванд бо ташаккули масъулияти инфиродӣ алоқаманд аст. Ба гуфтаи муҳаққиқи амрикоӣ Д. Солоу, ҳифзи маълумот дар муҳити рақамӣ на танҳо масъулияти ташкилот, балки масъулияти шахсӣ низ мебошад. Дар муҳити таълимӣ ин маънои ташаккули одатҳои бехатарии рақамиро дорад. Модели пешниҳодшуда инчунин ҳамгироии амнияти иттилоотро бо сифати таҳсил пешбинӣ менамояд. Агар муҳити иттилоотӣ ноустувор бошад, сифати таълим коҳиш меёбад. Агар маълумот гум шавад ё таҳриф гардад, эътимод ба натиҷаҳои таълим коҳиш меёбад. Агар платформаҳои таълимӣ вайрон шаванд, раванди омӯзиш қатъ мегардад. Аз ин рӯ, амнияти иттилоот бояд ҳамчун шартӣ сифати таҳсил баррасӣ шавад. Муҳаққиқи тоҷик Ҳ.Ҳ. Мирзоев таъкид мекунад, ки рушди таълими электронӣ бе муҳити иттилоотӣ бехатар ғайриимкон аст [10, с. 121]. Дар асоси таҳлил метавон хулоса кард, ки модели самараноки бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ бояд хусусиятҳои зеринро дошта бошад: низомнокӣ, пешгирикунандагӣ, ҳамгирӣ бо идоракунии, таъя ба фарҳанги иттилоотӣ ва мутобиқшавӣ ба муҳити рақамии кушода. Ин хусусиятҳо имкон медиҳанд, ки амният ба ҷузъи табиӣ фаъолияти таълимӣ табдил ёбад, на ба маҷмӯи тадбирҳои ҷудогона. Муҳаққиқони рус А.А. Шаньгин ва В.П. Мельников таъкид мекунанд, ки амнияти устувор танҳо дар ҳолате таъмин мешавад, ки он ба фарҳанги ташкилот табдил ёбад. Ҳамин тавр, такмили низоми бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ равандест, ки ҳамзамон тағйири технология, идоракунии ва тафаккурро талаб мекунад. Муассисаи таълимӣ бояд аз истеъмолкунандаи технология ба муҳити оғохонии истифодаи он табдил ёбад. Ин тағйирот танҳо бо ташкили низоми мукаммали амниятӣ, рушди фарҳанги иттилоотӣ ва ҳамгироии амният бо сифати таҳсил амалӣ мегардад.

Таҳқиқоти анҷомёфта нишон медиҳад, ки бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ яке аз масъалаҳои калидии рушди таҳсил дар шароити ҷомеаи рақамӣ мебошад. Рақамикунонии муҳити таълимӣ, ки имкониятҳои васеи дастрасӣ ба дониш ва идоракунии самаранокро фароҳам овардааст, ҳамзамон фазои нави хавфҳо ва таҳдидҳоро ба вуҷуд овардааст. Муассисаҳои таълимӣ имрӯз на танҳо марказҳои омӯзиш, балки низомҳои мураккаби иттилоотӣ мебошанд, ки дар онҳо ҳаҷми бузурги маълумоти шахсӣ, академӣ ва идоракунии ҷамъоварӣ ва коркард мегардад. Ҳифзи ин маълумот шартӣ муҳими устувории раванди таълим ва эътимоди ҷомеа ба низоми таҳсил мебошад. Таҳлил нишон дод, ки осебпазирии муҳити таълимӣ аз хусусияти кушода, гуногуншаклии корбарон ва маҳдудияти захираҳо сарчашма мегардад. Таҳдидҳои амнияти иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ хусусияти бисёрҷанбадоранд ва омилҳои техникӣ, инсонӣ ва ташкилӣ онҳоро муайян мекунанд. Аз ҷумла, истифодаи таҷҳизоти кӯҳна, сатҳи пасти саводнокии рақамӣ, набудани сиёсати равшани амниятӣ ва истифодаи дастгоҳҳои шахсӣ сатҳи хавфро афзоиш медиҳанд. Ин таҳдидҳо метавонанд ба гумшавӣ, таҳриф ё фошшавии маълумот оварда расонанд ва ба сифати таҳсил, адолати академӣ ва обрӯи муассиса таъсири манфӣ расонанд. Дар асоси таҳлил модели такмили низоми бехатарии иттилоот дар муассисаҳои таълимӣ пешниҳод гардид, ки ба ҳамгироии технология, инсон ва идоракунии таъя мекунад. Модел нишон

медихад, ки амнияти иттилоот танҳо бо воситаҳои техникӣ таъмин намешавад, балки ба фарҳанги иттилоотӣ ва сиёсати идоракунии вобаста аст. Ташкили сиёсати ягонаи амниятӣ, рушди саводнокии рақамӣ, такмили инфрасохтори техникӣ ва ворид намудани амният ба раванди идоракунии муассиса шартҳои асосии амнияти устувор мебошанд. Ҳамин тариқ, беҳатарии иттилоот бояд ҳамчун ҷузъи ҷудонашавандаи сифати таҳсил баррасӣ гардад. Муҳити таълимии беҳатар на танҳо ҳифзи маълумот, балки устувории раванди омӯзиш, эътимоди иштирокдорон ва рушди устувори таълими рақамиро таъмин менамояд. Дар шароити густариши технологияҳои рақамӣ муассисаҳои таълимӣ бояд на танҳо қорбарони технология, балки муҳити масъулонаи истифодаи он бошанд. Танҳо дар ин сурат рақамикунонии таҳсил метавонад ба баланд гардидани сифати таълим ва рушди ҷомеаи донишбунёд мусоидат намояд.

АДАБИЁТ

1. Саидов Н.Қ. Технологияҳои иттилоотӣ дар низомии таҳсилоти олий. – Душанбе: Маориф, 2020. – 212 с.
2. Мельников В.П., Шаньгин А.А. Информационная безопасность. – М.: Академия, 2018. – 304 с.
3. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании. – М.: Флинта, 2021. – 312 с.
4. Bishop M. Computer Security: Art and Science. – Boston: Addison-Wesley, 2019. – 1136 p.
5. Курбонов Қ.Қ. Идоракунии муассисаҳои таълимӣ дар шароити информатсионӣ. – Душанбе: Ирфон, 2019. – 180 с.
6. Угринович Н.Д. Информатика и ИКТ. – М.: БИНОМ, 2020. – 256 с.
7. Solove D.J. Understanding Privacy. – Cambridge: Harvard University Press, 2021. – 264 p.
8. Kent S., Paulsen L. Cybersecurity in Education. – New York: Routledge, 2020. – 228 p.
9. Баранова Е.Б. Информационная безопасность в образовательной организации. – СПб.: Питер, 2019. – 192 с.
10. Мирзоев Ҳ.Ҳ. Таълими электронӣ ва муҳити иттилоотӣ дар таҳсилот. – Душанбе: Маориф, 2021. – 164 с.
11. Малюк А.А. Информационная безопасность: теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 368 с.
12. Stallings W. Network Security Essentials. – Boston: Pearson, 2020. – 480 p.
13. Mitnick K., Simon W. The Art of Deception. – Indianapolis: Wiley, 2018. – 304 p.
14. Spafford E. Computer Security in the Real World. – Boston: Addison-Wesley, 2019. – 320 p.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378610>

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ

ZÜLFÜQAROVA RƏNA XƏYYAM Q., ABASOVA İNARƏ ƏFRAYIL Q.

Podratçı şirkət daxilində robotlardan istifadənin üstünlükləri və maneələri

Abstrakt. *İnşaat sənayesində irəliləyiş əldə etmək üçün yeni texnologiyaların tətbiqinə ehtiyac olduğu qeyd edilir, çünki inşaatda qəbul edilmiş ənənəvi metodlar və texnikalar səmərəlilik və məhsuldarlıq baxımından artıq öz limitlərinə çatmışdır. Bu, podratçı şirkətdə robotlaşdırmaya baxmağa başlamağın əsas səbəbi olmuşdur; məqsəd son onilliklərdə azalmış məhsuldarlığı artırmaq və layihələri təhvil vermək üçün tələb olunan ümumi müddəti qısaltmaqdır. Robotlar inşaat sənayesində “trend” mövzudur və podratçı şirkət bu texnologiyayı mənimsəmək cəhdində müxtəlif fəaliyyətləri inkişaf etdirib robotlaşdırmağa çalışır. Müxtəlif podratçılar tərəfindən yatırılan resurslar robotların podratçı biznesini böyüdəcək və səmərəliliyi artıracaq rəqabət üstünlüyü kimi qəbul edildiyini göstərir.*

Açar sözlər: *robot, podratçı şirkət, inşaat.*

Podratçı şirkətin üzərində çalışdığı layihə inkişaf mərhələsində olan prototipdir və real inşaat layihələrində tətbiq olunmayıb; həmçinin robot həllini inkişaf etdirən və inteqrasiya edən bütün tərəflər səylərini əsasən texniki maneələrin aradan qaldırılmasına yönəldirlər, idarəetmə aspektləri isə hələ nəzərə alınmamışdır. Təvsiyə olunur ki, idarəetmə aspektləri də təhlil edilib araşdırılsın; çünki bu, layihəni təhdid edə biləcək risk və maneələri idarə etməyə kömək edə bilər. Empirik məlumatlar podratçı şirkətlər daxilində robotlaşdırma ilə bağlı müxtəlif gözləntilər və qiymətləndirmələr olduğunu göstərir. Bu baxışları birləşdirmək — mövcud texnologiyaya, şirkət ehtiyaclarına, gözləntilərə və biznes strategiyasına əsasən robotlaşdırıla biləcək fəaliyyətləri müəyyənləşdirmək — uğur üçün vacibdir.

Robot texnologiyası üzrə vahid gələcək vizyona əsaslanan strategiya belə bir texnologiyanın inkişafı və təşkilata uyğunlaşdırılması üçün tələb olunan müddəti və xərci azalda bilər; çünki vahid, uyğun və tam inkişaf-tətbiq metodu təqdim edir. Bu isə tələbi artıraraq bütün prosesi sürətləndirə bilər.

Məlumatların toplanması zamanı robotların tətbiqinə maneə olan əsas baryerlərin bir qisminin, bəzi müsahibəçilərə görə, podratçı şirkətdə inşaatın ənənəvi icra tərzilə bağlı olduğu müəyyən edilmişdir. Layihənin uğurunu qiymətləndirən mövcud göstəricilər yalnız yekun maliyyə nəticələrinə əsaslanır. Bu yanaşma layihə-yönümlü icra metodu kimi təsvir edilir və onu sənaye səviyyəsində inşaatda yeni texnologiyaların tətbiqinə maneə kimi müəyyən edir. Müsahibə iştirakçıları əlavə edirlər ki, bu icra tərzilə işçilər üzərində böyük təzyiq yaradır və onları işi əvvəl sınaqdan keçmiş, nəticəsi sübut edilmiş üsullarla görməyə yönəldir. Bu davranış dəyişiklik qorxusu və yeni, qeyri-müəyyən metodlardan istifadə zamanı yaranan qeyri-müəyyənliklə izah edir; bu metodlara yeni texnologiyalar, təcrübələr və rutinlər daxildir və onların layihədən gözlənilən nəticələri verib-verməyəcəyi bilinmir. Bundan əlavə, bu ənənəvi yanaşma dizayn mərhələsinin əhəmiyyətini və çoxsaylı problemləri həll etməkdəki rolunu nəzərə almır; halbuki dizayn mərhələsi yetərincə vaxt alıb düzgün icra olunsa, problemlərin böyük hissəsi elə orada həll edilə bilər. Robot əsaslı fəaliyyətlərə keçid dizaynın daha yüksək dəqiqlik və detallarla hazırlanmasını tələb edir; dizayn mərhələsi əhatə və dəqiqlik baxımından tam aydınlaşmadan işə başlamaq mümkün deyil. Robotlardan istifadə ediləndə dizaynın robot-yönümlü olmasının vacibliyi vurğulanır. Burada qeyd etmək lazımdır ki, natamam dizayn zərurətən natamam BIM modeli deməkdir və bu, podratçı şirkətdə robotlaşdırma üçün əsas tələb kimi qəbul olunmuşdur.

Bundan başqa, podratçı şirkətdə ənənəvi üsullar bir çox tikinti işlərini subpodratçılara ötürməyə meyllidir; buna görə həmin fəaliyyətlər robotlaşdırıldıqda, onların podratçı şirkət daxilində “yerləşdirilməsi” lazım gələcək və bu isə podratçı şirkətin hazırda malik olmadığı bacarıqlar və yeni biznes modelləri tələb edəcək. Dizaynın yaradılması, məlumatın paylaşılması,

maraqlı tərəflərin say çoxluğu, onların maraqları, keçmişləri, layihədən gözləntiləri və müxtəlif komandalarda arasındakı interfeys kimi mürəkkəbliyə uğur üçün yüksək koordinasiya və əməkdaşlıq tələb edir. Bununla belə, insanlarda olan kommunikasiya və qarşılıqlı anlama bacarığı parçalanmadan doğan problemlərin həllinə kömək edir. Robotlar tətbiq ediləndə isə əlavə mürəkkəbliyə yaranır: insan məntiqinin bir hissəsi və ünsiyyət tərzini “itmiş” olur və yalnız verilən məlumat icra edilir. Bu, robotlara göndəriləndən əvvəl məlumatın tam koordinasiya edilməsini tələb edir; əks halda robotlar problemlə üzləşəcək. Bütün bunlar göstərir ki, bəzi ənənəvi tikinti proses formaları layihə səviyyəsində robotların tətbiqinə maneə yaradır. Bəzi müəlliflər yeni texnologiyaların tətbiqində ilkin ağır investisiyanı sənaye səviyyəsində maneə kimi göstərir; bu, robot həllərinə də aiddir: kiçik podratçılar və subpodratçılar belə inkişafı maliyyələşdirə bilmir, böyük podratçılar isə fəaliyyətlərinin çoxunu outsource edirlər. Robotların tətbiqi bu maraqlar toqquşmasını aradan qaldırmaq üçün yeni biznes strategiyaları və tərəfdaşlıqlar tələb edir. Digər tərəfdən inşaatın sərt iş mühitini robotların tətbiqinə maneə kimi müəyyən edir; buna əlavə olaraq, robotların insanlarla yanaşı açıq mühitdə işləməsi zamanı yaranan logistika və təhlükəsizlik ölçüləri də əlavə bəyər kimi müəyyən edilə bilər. Hərçənd bunlar robot-yönlü logistika və təhlükəsizlik təcrübələri ilə aradan qaldırıla bilən əlavə mürəkkəbliyə kimi də görünür.

Nəhayət, layihə həyat dövründə yaranan məlumatların qeydə alınmaması və toplanmaması böyük maneə kimi müəyyən edilmişdir; çünki robotun proqramlaşdırılması və işin insanın dizayn məlumatını başa düşmə və şərh etmə tərzinə uyğun icrası üçün həmin məlumatlar tələb olunur. Məlumatların toplanması zamanı robotlardan istifadənin üstünlükləri inşaatda yeni texnologiyaların tətbiqində qeyd etdiyi maddi təbiətli faydalarla üst-üstə düşür. Robot həllərinin tətbiqi ilə vaxt və xərc qənaəti əsas üstünlüklər kimi müəyyən edilmişdir. Bu o deməkdir ki, son məhsul ənənəvi tikinti metoduna nisbətən daha az vaxt və resursla istehsal olunacaq. Bundan əlavə, müsahibəçilər robotların keyfiyyəti artıracaq potensial alət olduğunu bildirmişlər ki, bu da robotlaşdırma ilə effektivliyin artırılması ilə uyğun gəlir. Robotlardan istifadəyə maneə kimi müəyyən edilən problemlərdən biri ənənəvi tikinti metodunda məlumatların toplanmamasıdır. Amma robotlar bu maneəni aradan qaldırmağa kömək edə bilər: performansını yaxşılaşdıraraq məlumatları real vaxtda davamlı şəkildə qeydə alır; bu isə qərarvericini düzgün qərar üçün tələb olunan məlumatla təmin edə bilər. Bu faydalar birlikdə hazırkı inşaatı dəyişdirir və onu kütləvi istehsal sənayesinə çevirməyə gətirib çıxara bilər. Bununla belə, toplanan üstünlüklərin hamısı maddi xarakterli olmamışdır; sahədə təhlükəsizliyin artırılması çox mühüm sayılmışdır, çünki robotlar çətin və riskli sahələrdə təhlükəli işləri yerinə yetirmək üçün istifadə oluna bilər və bu işlər insan faktoru ilə icra olunanda çox təhlükəli ola bilər. Maraqlı məqam odur ki, robotların tətbiqi insanlarla yan-yanı işlədikdə yeni təhlükəsizlik məhdudiyyətləri yaratsa da, ümumi nəticə sahədə təhlükəsizlik şəraitinin yaxşılaşmasıdır.

Podratçı şirkətdəki menecerlər hesab edirlər ki, inşaat sənayesinin layihə-əsaslı xüsusiyyəti təşkilat daxilində robototexnikanın tətbiqini çətinləşdirir; çünki hər layihənin öz büdcəsi və resursları var və robotlar layihə büdcəsi üçün ağır investisiya ola bilər. Digər tərəfdən layihə-əsaslı təşkilatlar dəyişikliklərin tətbiqində üstünlüyə sahib ola bilərlər: layihələr dəyişiklikləri həyata keçirmək üçün çevik alətlər ola bilər, lakin vacib olan odur ki, belə dəyişiklik layihənin kapital xərci ilə deyil, təşkilat üçün yaratdığı dəyərlə ölçülməlidir.

Inşaat sənayesi dəyişikliklərə ən çox müqavimət göstərən sənayelərdən biri kimi müəyyən edilmişdir; bu mədəniyyət zamanla ənənəvi metodların istifadəsi əsasında formalaşmışdır və daha sürətli dəyişikliklərə alışmış və daha təcrübəli digər sənayelərə çox açıq deyil. İnsanlar sürətli dəyişikliklərə müqavimət göstərməyə meyillidirlər və bu problem dəyişikliyi hissələrə bölüb mərhələli şəkildə başlamaqla həll oluna bilər. Bundan əlavə, inşaat sənayesində robototexnika mövzusunda gəldikdə, tapıntılar göstərir ki, insanlar öz mövqeləri və bacarıqlarının gələcəkdə lazım olub-olmayacağı barədə narahat olurlar. Lakin robot həllinin bir layihədə uğurlu tətbiqi “sıçrayış” yarada və bu texnologiyaya qəbul səviyyəsini və tələbi artırma bilər.

Proseslər və dizaynın idarə edilməsi. Podratçı şirkətdəki menecerlər hesab edirlər ki, robototexnika inşaat təşkilatında yaşaması üçün biznes modeli baxımından özünü etibarlı tətbiq

kimi sübut etməlidir. Əsas çətinlik müxtəlif fəaliyyətlərdə robototexnikanın inkişafı və işlədilməsi zamanı əsas podratçı ilə subpodratçının rolunu müəyyən etməkdir. Menecer C mövcud vəziyyətdə bir boşluq görür: podratçı–subpodratçı münasibəti yalnız görülən işlə məhdudlaşır. Buna görə o, subpodratçılarla daha çox əməkdaşlıq etməyi və onlara robototexnikanı tətbiq etməkdə kömək etməyi həll yolu kimi təqdim edir; çünki əvvəlki təcrübələrə əsasən məmnun subpodratçı iqtisadiyyat mövzusunda çox danışıqlar aparmır və işi daha sürətli görür. Digər tərəfdən, Menecer A subpodratçılara köməyin dəyərli məlumatların rəqiblərə ötürülməsi riski daşıya biləcəyini düşünür. Məsləhətçi A izah edir ki, bu, inşaat sənayesinin digər sənayelərdən öyrənməli olduğu bir məsələdir: sahədə problemləri həll etmək inşaatda adi haldır, halbuki digər sənayelərdə bu “fəlakətli” sayılır. Tam dizaynın tamamlanması və daha sonra tikinti prosesinə keçid arasında aydın ayrım olmalıdır. Tərtibatçılar və məsləhətçi razılaşırlar ki, inşaat prosesinin daha çox standartlaşdırma və prefabrikasiya istiqamətinə çevrilməsi robototexnikanın tətbiqini asanlaşdıracaq. Tərtibatçı A hesab edir ki, inşaatda prefabrikasiyanın azlığı və robotun sahədə işləməsinə ehtiyac sənaye robotları üçün əlavə tələblər yaradır; məsələn, fiziki vəziyyətə uyğunlaşma, mobillik və təhlükəsizlik məsələləri. Standartlaşdırma və prefabrikasiya bəzən binaların oxşar görünəcəyini düşünənlər tərəfindən rədd edilir. Məsləhətçi izah edir ki, bu böyük bir yanlış anlaşılımdır: prefabrikasiya binaların hissələrinin daha sürətli və ucuz istehsalına kömək edəcək, bu da daha aşağı qiymətlərlə daha çox fərdi bina tikməyi mümkün edəcək. Bundan əlavə, bu yanaşmanın inşaat sənayesinə tətbiqi mürəkkəb fəaliyyətləri daha kiçik, standart hissələrə bölməyə kömək edə bilər; bu hissələr daha səmərəli icra olunur və daha yüksək keyfiyyətlə təhvil verilə bilər. Məsləhətçi A hesab edir ki, inşaat sənayesinin problemi onun özünə qapalı olmasıdır: inşaatda çalışan insanların əksəriyyəti bütün həyatları boyu inşaat oxuyub inşaatda işləyirlər, ona görə də istehsalı inkişaf etdirmək barədə digər sənayelərdən öyrənmirlər; o, robototexnikanın tətbiqini asanlaşdırmaq üçün insanların doğru seçimlər etməsinə kömək edəcək təlimləri təklif edir. Armatür qəfəsləri robotunda Menecer C hesab edir ki, BIM aləti kifayət qədər detallı və robot məntiq qaydalarına çevrilə bilən dizayn yaratmaq üçün istifadə edilməlidir. Bu dizayndakı təkmilləşmə dizayn xərclərini artıracaq, lakin Menecer A düşünür ki, robot işə başlayanda layihənin ümumi xərci azalacaq. Menecer C bir nümunə gətirir: böyük bir layihə üçün mükəmməl model hazırlanmışdı və bu modeldə bütün toqquşmalar layihə başlamazdan əvvəl aradan qaldırılmışdı; modelin hazırlanmasına daha çox vaxt getmişdi, lakin nəticə fasiləsiz, birbaşa tikinti prosesi və daha yaxşı nəticələr olmuşdu.

Nəhayət, robot həllinin tətbiqindən doğan strateji dəyişiklik təşkilatı proseslər səviyyəsində təhlil olunmalıdır ki, proseslərin necə təsirlənəcəyi müəyyən edilsin. Müsahibə iştirakçıları dizayn prosesini robototexnikanın tətbiqini asanlaşdırmaq üçün təkmilləşdirilməli və fərqli şəkildə icra olunmalı fəaliyyət kimi görürlər. Dizayn robotlar üçün həyati əhəmiyyət daşıyır və tam, bütün detalları ilə hazırlanmış dizayn olmadan robot problemsiz işləməyəcək. Robot həllərindən istifadə ediləndə dizayn mərhələsinin tamamlanması tələb olunur; bu, ənənəvi metoddan fərqlənir, çünki ənənəvi üsulda dizayn yekunlaşmadan da işə başlamaq mümkündür.

ƏDƏBİYYAT SIYAHISI

1. Jennifer, M. (2002). “Qualitative researching”. 2nd edition, Sage, London.
2. Kaivo-oja, J., Roth, S., & Westerlund, L. (2016). “Futures of robotics. Human work in digital transformation”. International Journal of Technology Management, vol. 73, no. 4, pp. 176.
3. Lubas, R.L., Jackson, A.S., Schneider, I. (2013), “The metadata manual: a practical workbook”, Chandos Publishing, Cambridge, UK
4. Löfgren, A. (2006), “ICT investment evaluation and mobile computing business support for construction site operations”, Proceedings of Helsinki Mobility Roundtable, Sprouts: Working Papers on Information Systems, Vol. 6 No. 29.
5. McAfee, A. & Brynjolfsson, E. (2012), “Big data: the management revolution”, United States.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378668>
УДК 622.276.2

ӘЛІБЕКМОЛА КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҰҢҒЫМАЛАРДЫ ТҰЗ-ҚЫШҚЫЛМЕН ӨҢДЕУ

ХАМЗИНА БАЯН ЕЛЕМЕСОВНА

Жәңгір хан атындағы БҚАТУ, Индустриалды технологиялық институтының доцент
м.а., PhD докторы, Орал қ., Қазақстан

КУПЕШОВА АЛТЫНАЙ САКИПКЕРЕЕВНА

Жәңгір хан атындағы БҚАТУ, Индустриалды технологиялық институтының аға
оқытушысы

РАБАЕВ ТАМИРЛАН КАДЫРОВИЧ

Жәңгір хан атындағы БҚАТУ, Индустриалды технологиялық институтының
магистранты

Аңдатпа: Мақалада Әлібекмола кен орны ұңғымаларды тұз маңы аймағын тұз қышқылымен өңдеудің (ТҚӨ) негізгі түрлерінің сипаттамасы мен мақсаты келтірілген. Ұңғымалардың төмен өнімділігінің ықтимал себептері және осы әдісті қолдана отырып оларды шешу жолдары келтірілген

Түйін сөздер: тұз қышқылымен өңдеу, ұңғымалар, карбонатты жыныстар, қышқылды бастыру, пакер

Аннотация: В статье приведено описание и цели основных видов обработки скважин на месторождении Алибекмола с использованием соляно-кислотной обработки (СКО) призабойной зоны пласта. Рассмотрены возможные причины низкой продуктивности скважин и пути их решения с использованием данного метода.

Кіріспе

Әлібекмола кен орнын игерудің іске асырылып жатқан жүйесі жағдайында мұнай қорларын барынша өндіруді және қабаттар қорларын біркелкі өндіруді қамтамасыз ететін төмен өткізгіш қабаттарды игеруге тарту жөніндегі жұмыстарды жалғастыру қажет. Осыған байланысты ұқсас көршілес мұнай және газ кен орындарында өндіруді қарқындату әдістерінің әртүрлі технологияларын қолдану тәжірибесі маңызды рөл атқарады.

Әдістеме

Ұңғымаларды пайдалану барысында ұңғыма тұз аймағы бітеліп қалады-перфорациялық тесіктерді қатты және ісінген жыныстармен, мұнайдың шайырлы қалдықтарымен, минералданған қабат суларынан түсетін тұздармен, парафин шөгінділерімен, гидраттармен және т.б. толтуы мүмкін[1]. Қышқылдардың әсерінен ұңғыма тұз маңы жыныстарында бос жарықшалар, қуыстар, коррозия арналары пайда болады, нәтижесінде тау жыныстарының өткізгіштігі артады.

Тұз қышқылын пайдаланудың бірнеше түрі бар:

- 1) қарапайым ТҚӨ
- 2) қышқыл ванна
- 3) қысыммен ТҚӨ
- 4) аралық немесе сатылы ТҚӨ[2].

Қарапайым тұз қышқылымен өңдеудің негізгі мақсаты - жүйенің өткізгіштігін және ұңғыманың дебитін арттыратын микрожарықтар мен арналарды кеңейту мақсатында қышқылды ұңғыма қабырғасынан едәуір қашықтықта қабатқа айдау.

Кәдімгі ТҚӨ - тұз қышқылының карбонатты жыныстарды әктаспен, доломитпен (CaMgCO_3) реакциялар арқылы еріту қабілетіне негізделген. Реакция өнімдері суда жақсы ериді және ағынды шақыру және игеру кезінде ұңғыма түбінен салыстырмалы түрде оңай жойылады. Реакция кеуекті арналарда тиімді жүреді, олар тар және ұзын каверналар түрінде кеңейеді, Кәдімгі ТҚӨ – нің негізгі мақсаты - микрокуектер мен арналардың мөлшерін кеңейту, олардың өзара байланысын жақсарту мақсатында қышқылды қабырғадан едәуір қашықтыққа қабатқа айдау. Бұл жүйенің өткізгіштігін және ұңғыманың шығынын (қабылдағыштығын) арттырады. Қышқылдың қабатқа ену тереңдігі реакция жылдамдығына байланысты. Реакция жылдамдығы тау жыныстарының химиялық құрамына, температураға, қысымға және қышқыл ерітіндісінің концентрациясына байланысты және оның бейтараптандыру уақытымен сипатталады (температураға байланысты).

ТҚӨ қысыммен. Бұл әдіс қысымды жасанды түрде 15-30 МПа-ға дейін арттыру арқылы қышқылды өнімді қабаттың өткізбейтін аралықтарына сату үшін қолданылады. Қышқылдың жоғары қысымы реакция жылдамдығының төмендеуіне, қышқылдың қабатқа терең енуіне, өткізгіштігі төмен қабаттар мен бөліктерін қышқыл ерітіндісімен жабылуына ықпал етеді, бұл қышқылды өңдеудің тиімділігін едәуір арттырады.

Қышқыл эмульсиялары. ТҚӨ өткізгіштігі жоғары қабатшаларды бітеу үшін қысыммен өткізген кезде оларға қышқыл эмульсиясы айдалады. Мұнай-қышқыл эмульсиялары 12% HCl ерітіндісі мен мұнайдың қоспасынан тұрады. Эмульсия компоненттерінің қатынасы: көлемі бойынша 70% – қышқыл ерітіндісі, 30% – газсыздандырылған мұнай. Егер газсыздандырылған мұнай жеңіл болса, оған тотыққан мазут, гудрон және т.б. эмульсияның жақсы сапасын алу үшін оған эмульгаторлар қосылады. Алынған эмульсияның тұтқырлығы оның компоненттерінің дисперсиясына, яғни араластыру уақытына байланысты. Жеткілікті ұзақ араластыру уақытымен тұтқырлығы 10 Па·с дейін ұсақ дисперсті эмульсия алынады. Алынған мұнай-қышқыл эмульсиясы ұңғыма түб маңы аймағына айдалады, өткізгіштігі жоғары аймақтарға еніп, оларды толтырады. Жоғары қысымның әсерінен қышқыл ерітіндісі төмен өткізгіш айырмашылықтарға құйылады, бұл қышқылдың әсер ету процесімен қабаттың қамтуын едәуір арттырады. Мұнай-қышқыл эмульсиясының көлемі ұңғыманы, ағын профильдерін (қабылдағыштығын), сондай-ақ қабаттың өңделетін аймағының коллекторлық қасиеттерін ұңғымаларды гидродинамикалық зерттеу (ҰГДЗ) нәтижелері бойынша есептеледі[3].

Аралық немесе сатылы ТҚӨ. Ол жалпы сүзгімен немесе жалпы ашық мен сипатталатын бірнеше тәуелсіз қабаттарды ашқанда қолданылады. Барлық аралықта бір реттік тұз қышқылын өңдеу кезінде оң нәтиже тек бір өткізгіш қабатшадан алынады. Гидроөткізгіштігі нашарлаған басқа қабаттар іс жүзінде өңделмеген күйінде қалады. Басқа қабатшаларда тұз қышқылын өңдеуді жүргізу үшін олар интервалдардың немесе қабатшалардың шекараларына тікелей орнатылатын екі пакердің көмегімен оқшауланады. Бір интервалды өңдегеннен кейін және алынған нәтижелерді бағалау үшін оны кейіннен сынақтан өткізгеннен кейін келесі интервал ТҚӨ -ға өтеді.

Әр түрлі кеуектілігі мен өткізгіштігі бар қабаттар тобын бірыңғай пайдалану объектісінде біріктірудің жоғарыда аталған теріс әсерін әлсірету үшін әзірлеудің технологиялық схемасымен селективті тұз-қышқылды өңдеу (ТҚӨ), акустикалық әсер (АӘ), саңылаулы гидрокүмды немесе гидромеханикалық перфорация (ГМП) және т. б. сияқты технологиялардың тұтас кешені ұсынылады.

Талдау және нәтижелер

Шын мәнінде, кен орнында техниканың ұсынымдарына сәйкес 45 тұз-қышқылды өңдеу, 24 селективті ТҚӨ және 1 (№54) акустикалық әсер жүргізілді. Ерітіндідегі тұз қышқылының концентрациясы 15-20% NCL болды. Айдалатын қышқылдың көлемі ұңғымалардың өнімді параметрлеріне байланысты 1 м-ге 0,5-тен 1,5 м³-ге дейін өзгерді. ТҚӨ өткізілгеннен кейін көптеген ұңғымаларда мұнай дебитінің бірнеше есе артуы байқалады,

алайда, көптеген ұңғымаларды пайдалану тарихы көрсеткендей, қарқындылықтан тиімді кезең қысқа болды.

Зерттеу нәтижелерін салыстыру, ҰГДЗ арқылы бұрғыланған ұңғымаларды бақылау, интенсификациядан бұрын және кейін, көрсетеді, бұның нәтижесінде интенсификациядан кейін бұрын жұмыс істемеген қабаттар іске қосылады, дренаждың қамтылуы артады, бұл ұңғымалардың орташа тәуліктік дебитінің өсуіне әкеледі. Алайда, әдеттегі тұз-қышқыл өңдеу кезінде бастырылатын қышқыл СКҚ-дан лас заттарды итеріп шығарады, ал пакердің төменінде орналасқан сұйықтық жоғары өткізгіш қабаттарға тікелей өтеді, бұл төмен өткізгіш қабаттардың өңделмей қалуына әкеледі, соның нәтижесінде шараның тиімділігі төмендейді.

Жер қойнауында теріс салдардың алдын алу мақсатында жұмысшы сұйықтығын иілгіш СКҚ-қы көмегімен айдаудың технологиясы қолданылды, бұл қышқылды нақты берілген тереңдікке бағыттап жеткізуге мүмкіндік берді. Иілгіш СКҚ-қы көмегімен тұз-қышқылдық өңдеу осы кен орында 2008-2011 жылдар аралығында 24 скважинада 28 рет жүргізілді. Алайда, бұл әдіс Алибекмолы кен орнындағы төмен өткізгіш зоналарды өңдеу мәселесін толық шешпейді, себебі иілгіш СКҚ арқылы сұйықтықтың ағынын тек жеке қызықтыратын зоналарға бағыттауға болады, ал бұл жағдайда ең өткізгіш интервалдар ашық қалады, олар жұмысшы сұйықтығының басым көлемін сіңіреді. Мұндай техникалық проблемаларды кен орнында болдырмауға механикалық пакерлердің қолдану технологиясы көмектесті, олар өңделетін зонаны екі жағынан бөледі.

2010 жылдан бастап кен орнында селективті өңдеулер қолданылуда, олар жұмысшы сұйықтығын тек төмен өткізгіш зонаға бағыттауға мүмкіндік береді. Бұл мақсатта бұрғылау құбырлары немесе иілгіш СКҚ-ға түсірілетін және механикалық пакерлермен жабдықталған жабдық пайдаланылады.

Селективті өңдеу коммерциялық қызметін «Халлибертон» компаниясы көрсетуде, және есептің датасына сәйкес 25 ұңғыма өңделген, оның ішінде 14 ұңғыма бұрғылау барысындағы ашық стволда өңделген. Селективті тұз қышқылды өңдеулердің тиімділігі ұңғымалардың орташа тәуліктік дебитінің артуы арқылы бағалана алады, көптеген ұңғымалардың жұмыс режимдері шара жүргізілгеннен кейін бірден өзгеріп жатыр. Негізінен селективті өңдеулер скважинаны сынау және оны айдауға ауыстырмас бұрын жүргізілген, бұл ҰГДЗ арқылы бақылау нәтижелеріне сүйене отырып, селективті өңдеулердің интервалдық тиімділігін қадағалауды қиындатады.

Селективті өңдеулерден бөлек, кен орнында перфорациялық арналарды (№28-31.03.12ж., №137-06.02.12ж. скважиналарында) физикалық көлемінің көп бөлігін сіңіріп алатын қабаттарды жабу әдісі қолданылды. Бұл әдіс шарлы тығыздағыштарды осы арналарға жоғары қысыммен айдау арқылы жүзеге асырылды. Қышқыл мен тығыздайтын агенттер кезегімен айдалды. Шарлы тығыздағыштар қабаттың депрессиясы болған жағдайда түпке түседі.

Кен орнында карбонатты қабаттарға ықпал етудің басқа әдістерін тиімділігін бағалау үшін 2009 жылдың мамырында №54 скважинада акустикалық әсер ету жүргізілді. ҰГДЗ бақылау нәтижелері акустикалық әсер ету \uparrow және кейін, скважина қуаттылығының 70%-ға артқанын көрсетеді, бұл бұрын тиімді мұнаймен қаныққан қабаттар қатарына жатпайтын, бірақ өнімді қырына кірген интервалдардың әсерінен болды. Осының салдарынан скважина дебитінің артуы күтілді, алайда пайдалану режимінің өзгеруіне (6 мм штуцердің 9 мм-ге ауысуы) байланысты акустикалық вибрациялық әсердің тиімділігін бағалау мүмкін емес болып отыр. Дебиттің артуы, болжам бойынша, скважинаның жұмыс режимінің өзгеруіне байланысты болды[4].

Қорытынды

Интенсификация өндірісіндегі әдістердің тиімділігін талдау жалпы алғанда, бүгінгі күні Алибекмола кен орнында матрицалық қышқылды өңдеу мұнай өндіруді оңтайландыру үшін қолданылатын басым әдіс екенін көрсетеді. Қышқылды өңдеулерді жүргізу

нәтижесінде кен орнының ұңғымаларының дебиті орта есеппен 35 т/тәулікке артты. ГИС бақылау нәтижелері бойынша тұз-қышқылдық өндеулерден кейін кейбір бұрын жұмыс істемеген қабаттардың іске қосылғаны тіркелді, бұл скважинаның жалпы дренажды қамтуды және дебиттің артуын қамтамасыз етті.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. Нефть и газ, Москва, 2003 г., 816 стр.
2. Лысенков. А.В., Антипин Ю.В., Стеничкин Ю.Н. Интенсификация притока нефти из гидрофобизированных карбонатных коллекторов с высокой обводненностью // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 36
3. Колганов, В.И., Ковалева, Г.А. О классификации карбонатных трещинных коллекторов, // Нефтепромысловое дело.2010. №11 с. 12-14.
4. Ганиев, Ш.Р., Лысенков, А.В. О классификации карбонатных коллекторов и ее значении при выборе системы воздействия на нефтяные пласты//Нефтегазовое дело. –2017. – Том.15 – № 3. С.28–32

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378753>

BİRBAŞA QOVULMUŞ BENZİNİN HİDROTƏMİZLƏNMƏSİ BLOKUNUN AVTOMATLAŞDIRILMASI

MAHMUDOV YƏHYA SÜLEYMAN oğlu

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin magistri, Bakı, Azərbaycan

Xülasə. Bu məqalədə birbaşa qovulmuş benzinin hidrotəmizlənməsi prosesinin avtomatlaşdırılması məsələsi araşdırılmışdır. Hidrotəmizləmə prosesinin əsas məqsədi benzinin tərkibində olan kükürd, azot və digər zərərli birləşmələrin hidrogen vasitəsilə çıxarılması və daha keyfiyyətli yanacaq alınmasıdır. Məqalədə hidrotəmizləmə qurğusunun əsas texnoloji hissələri, prosesin gedişi və reaksiyanın baş verdiyi şərait təhlil edilmişdir. Eyni zamanda temperatur, təzyiq və hidrogen sərfiyyatının prosesin effektivliyinə təsiri izah olunmuşdur.

Araşdırmada avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin bu prosesdə rolu xüsusi vurğulanmışdır. Sensorlar vasitəsilə real vaxtda alınan məlumatların PLC və SCADA sistemləri ilə idarə olunması nəticəsində prosesin stabil və təhlükəsiz şəkildə aparılması təmin edilir. Bundan əlavə, PID tənzimləyicilər və geribildirim prinsipi əsasında optimal iş rejiminin saxlanılması izah edilmişdir.

Açar sözlər: hidrotəmizləmə, birbaşa qovulmuş benzin, avtomatlaşdırma, PLC, SCADA, katalizator, hidrogenləşmə.

Abstract: This article examines the automation of the hydrotreating process of straight-run gasoline in modern oil refining systems. Hydrotreating is a key refining stage aimed at removing sulfur-, nitrogen-, and oxygen-containing compounds from gasoline fractions through catalytic reactions in a hydrogen-rich environment. The study analyzes the technological fundamentals of the process, including operating conditions such as temperature, pressure, hydrogen consumption, and catalyst performance. Special attention is given to the structure of the hydrotreating unit, which includes reactors, heat exchangers, separators, and hydrogen circulation systems. The role of automation in ensuring process stability, safety, and efficiency is also investigated. Modern control systems such as PLC and SCADA, along with PID controllers and real-time monitoring sensors, are highlighted as essential tools for maintaining optimal operating conditions. The results indicate that the implementation of automated control systems significantly improves process reliability, enhances product quality, reduces energy consumption, and minimizes environmental emissions. Overall, automation of the hydrotreating process plays a crucial role in achieving efficient, safe, and environmentally compliant fuel production in the petroleum refining industry.

Keywords: hydrotreating, straight-run gasoline, automation, PLC, SCADA, catalysts, hydrogenation, petroleum refining.

Аннотация: Данная статья посвящена вопросам автоматизации процесса гидроочистки прямогонного бензина в современных нефтеперерабатывающих системах. Гидроочистка является важной стадией переработки нефти, направленной на удаление серо-, азото- и кислородсодержащих соединений из бензиновых фракций в присутствии водорода и катализаторов. В работе рассматриваются технологические основы процесса, включая основные параметры, такие как температура, давление, расход водорода и активность катализатора. Особое внимание уделяется устройству установки гидроочистки, в состав которой входят реактор, теплообменники, сепараторы и система циркуляции водорода. Отдельно анализируется роль автоматизированных систем управления в обеспечении стабильности, безопасности и эффективности процесса. Рассматривается применение современных средств автоматизации, таких как PLC и SCADA системы, а также PID-регуляторы и датчики контроля в реальном времени. Результаты исследования показывают, что внедрение автоматизированных систем

управления позволяет повысить качество получаемого продукта, снизить энергозатраты, улучшить экологические показатели и обеспечить устойчивую работу технологического процесса.

Ключевые слова: *Гидроочистка, прямогонный бензин, автоматизация, PLC, SCADA, катализатор, нефтепереработка, гидрогенизация.*

Giriş

Neft emalı sənayesində yüksək keyfiyyətli motor yanacaqlarının əldə olunması üçün ilkin distillə məhsullarının təmizlənməsi mühüm texnoloji mərhələ hesab olunur. Xam neftin birbaşa qovulması nəticəsində alınan benzin fraksiyası tərkibində kükürd birləşmələri, azotlu və oksigenli qeyri-üzvi komponentlər kimi çirkləndirici maddələr saxlayır. Bu komponentlər yanacağın istismar xüsusiyyətlərini pisləşdirməklə yanaşı, yanma zamanı atmosfərə atılan zərərli emissiyaların artmasına səbəb olur.

Bu səbəbdən hidrotəmizləmə prosesi neft emalı zavodlarında geniş tətbiq olunan əsas təmizləmə üsullarından biridir. Proses yüksək temperatur və təzyiq şəraitində hidrogen mühitində, xüsusi katalizatorların iştirakı ilə aparılır. Reaksiya nəticəsində kükürd və digər heteroatomlu birləşmələr hidrogenləşmə reaksiyalarına daxil olaraq hidrogen sulfid, ammoniyak və su kimi daha sadə və çıxarılması asan məhsullara çevrilir. Bu işə alınan benzinin keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşmasına şərait yaradır. Hidrotəmizləmə prosesinin səmərəliliyi bir sıra texnoloji parametrlərdən, o cümlədən reaksiya temperaturu, təzyiq, hidrogenin mol nisbəti və katalizatorun aktivliyindən asılıdır. Bu parametrlərin sabit saxlanması prosesin dayanıqlığı və məhsul keyfiyyəti baxımından həlledici rol oynayır. Müasir neft emalı texnologiyalarında bu cür mürəkkəb proseslərin idarə olunması üçün avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi geniş yayılmışdır. Sensorlar vasitəsilə ölçülən texnoloji göstəricilər real vaxt rejimində idarəetmə bloklarına ötürülür və sistemin iş rejimi tələb olunan optimal səviyyədə saxlanılır. Bu yanaşma həm prosesin stabil aparılmasını təmin edir, həm də insan müdaxiləsindən irəli gələn xətaların azalmasına imkan yaradır. Beləliklə, birbaşa qovulmuş benzinin hidrotəmizlənməsi prosesinin avtomatlaşdırılması müasir neft emalı sənayesində texnoloji səmərəliliyin artırılması və ekoloji tələblərin təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Əsas hissə

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacağın optimal paylanması enerji sistemlərinin səmərəli fəaliyyətinin təmin olunmasında mühüm rol oynayır. Müasir dövrdə təbii qaza olan tələbatın artması qaz nəqli və paylanması proseslərinin daha dəqiq idarə edilməsini tələb edir. Bu baxımdan qaz axınının düzgün tənzimlənməsi, enerji itkilərinin minimuma endirilməsi və müasir optimallaşdırma üsullarının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Qaz paylayıcı şəbəkələrin optimal idarə olunması yalnız texniki baxımdan deyil, həm də iqtisadi və ekoloji baxımdan vacib hesab olunur.

Birbaşa qovulmuş benzinin xüsusiyyətləri və hidrotəmizləməyə ehtiyac. Birbaşa qovulmuş benzin (straight-run gasoline) neftin atmosfer distilləsi nəticəsində alınan ilkin yüngül fraksiyalardan biridir. Bu məhsul neftin ilkin emal mərhələsindən əldə edildiyi üçün onun tərkibi tam təmiz olmur və müxtəlif heterogen komponentləri özündə saxlayır. Əsasən C₅–C₁₀ karbon zəncirinə malik parafin, naften və aromatik karbohidrogenlərdən ibarət olsa da, tərkibdə kükürd, azot və oksigen tərkibli qeyri-karbohidrogen birləşmələr də müşahidə olunur.

Ədəbiyyat məlumatlarına əsasən, bu tip benzin fraksiyalarında kükürd birləşmələri (merkaptanlar, sulfidlər və disulfidlər) xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Belə birləşmələr yanma prosesində kükürd oksidlərinin (əsasən SO₂) yaranmasına səbəb olur ki, bu da atmosfer çirklənməsi və korroziya proseslərinin intensivləşməsinə gətirib çıxarır. Eyni zamanda azotlu birləşmələr yanma zamanı NO_x emissiyalarının formalaşmasına şərait yaradır ki, bu da ekoloji baxımdan ciddi problem hesab olunur.

Birbaşa qovulmuş benzinin digər mühüm çatışmazlığı onun aşağı oktan ədədinə malik olmasıdır. Oktan ədədi yanacağın detonasiya müqavimətini xarakterizə edir və onun aşağı olması

daxiliyanma mühərriklərində qeyri-sabit yanma prosesinə səbəb olur. Bu isə mühərriklərin səmərəliliyini azaldır və onların istismar müddətinə mənfi təsir göstərir.

Bundan əlavə, tərkibdə olan oksigenli və qeyri-sabit üzvi birləşmələr saxlanma zamanı oksidləşmə və polimerləşmə proseslərinə meyli olur. Bu proseslər nəticəsində qatranlaşma və çöküntü əmələ gəlməsi baş verir ki, bu da yanacağın keyfiyyət göstəricilərini pisləşdirir.

Yuxarıda qeyd olunan amillər birbaşa qovulmuş benzinin birbaşa istifadə üçün yararsız olduğunu göstərir. Buna görə də onun mütləq şəkildə əlavə təmizlənmə proseslərindən keçirilməsi tələb olunur. Ən geniş tətbiq olunan metod hidrotəmizləmə prosesidir. Bu proses zamanı benzin fraksiyası yüksək temperatur və təzyiq şəraitində hidrogen mühitində katalizatorların iştirakı ilə emal olunur. Nəticədə kükürd və azot birləşmələri hidrogenlə reaksiyaya girərək daha sadə və çıxarılması mümkün olan birləşmələrə çevrilir.

Elmi ədəbiyyatlarda qeyd olunur ki, hidrotəmizləmə prosesi nəticəsində yanacağın ekoloji göstəriciləri əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşır, kükürdün miqdarı minimum səviyyəyə endirilir və məhsulun beynəlxalq standartlara uyğunluğu təmin olunur. Buna görə də birbaşa qovulmuş benzinin hidrotəmizlənməsi müasir neft emalı texnologiyalarında əsas mərhələlərdən biri hesab edilir.

Hidrotəmizləmə prosesinin texnoloji əsasları

Hidrotəmizləmə (hydrotreating) prosesi neft emalı sənayesində karbohidrogen fraksiyalarının tərkibində olan heteroatomlu birləşmələrin (əsasən kükürd, azot və oksigen tərkibli komponentlərin) hidrogen mühitində katalitik çevrilməsi və çıxarılması məqsədilə həyata keçirilən əsas texnoloji mərhələlərdən biridir. Birbaşa qovulmuş benzinin hidrotəmizlənməsi zamanı məqsəd yalnız çirkəndiricilərin aradan qaldırılması deyil, həm də yanacağın fiziki-kimyəvi və istismar xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasıdır.

Proses yüksək temperatur və təzyiq şəraitində aparılır. Tipik olaraq temperatur intervalı 300–400°C, təzyiq isə 2–8 MPa (20–80 atm) arasında dəyişir. Bu şərait hidrogenin karbohidrogen qarışığına effektiv nüfuz etməsini və katalitik reaksiyaların sürətlə getməsini təmin edir. Hidrotəmizləmə ekzotermik proses hesab olunur, yəni reaksiya zamanı istilik ayrılır, buna görə də reaktor daxilində istilik balansının idarə olunması xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Prosesin əsas kimyəvi mahiyyəti hidrogenləşmə reaksiyalarına əsaslanır. Kükürd tərkibli birləşmələr hidrogenlə reaksiyaya girərək hidrogen sulfid (H_2S) əmələ gətirir. Azotlu birləşmələr ammonyak (NH_3), oksigenli birləşmələr isə su (H_2O) formasında çıxarılır. Bu çevrilmələr nəticəsində xammalın tərkibi sadələşir və daha stabil karbohidrogen qarışığı əldə edilir.

Reaksiyaların effektiv getməsi üçün katalizatorlar əsas rol oynayır. Sənaye praktikasında ən geniş istifadə olunan katalizatorlar kobalt-molibden ($Co-Mo/Al_2O_3$) və nikel-molibden ($Ni-Mo/Al_2O_3$) sistemləridir. Bu katalizatorlar yüksək aktivliyə malik olub həm kükürdün, həm də azotun çıxarılmasında effektiv nəticə verir. Katalizatorların aktiv səthi reaksiya mərkəzləri yaradır və hidrogenləşmə prosesini sürətləndirir.

Hidrotəmizləmə qurğusuna daxil olan xammal əvvəlcə hidrogenlə qarışdırılır və istilik dəyişdiricilər vasitəsilə lazımi temperatura qədər qızdırılır. Daha sonra qarışıq reaktora daxil olur və katalizator yatağından keçərək kimyəvi çevrilməyə məruz qalır. Reaktordan çıxan məhsul separatorlara göndərilir, burada qaz və maye fazalar ayrılır. Qaz fazasında əsasən hidrogen sulfid, ammonyak və artıq hidrogen olur, maye faza isə təmizlənmiş benzin məhsulunu təşkil edir.

Prosesin səmərəliliyinə bir neçə əsas texnoloji parametr təsir göstərir. Bunlara hidrogenin parsial təzyiqi, maye saatlı sürət (LHSV), temperatur rejimi və hidrogen/karbohidrogen nisbəti daxildir. Məsələn, hidrogenin parsial təzyiqinin artırılması kükürdün çıxarılma dərəcəsini yüksəldir, lakin eyni zamanda enerji sərfiyyatını da artırır. Buna görə də prosesin optimal rejimi həm texnoloji, həm də iqtisadi baxımdan balanslaşdırılmalıdır.

Ədəbiyyat məlumatlarına əsasən, hidrotəmizləmə prosesinin effektivliyi 90–99% aralığında dəyişə bilər ki, bu da ilkin xammalın keyfiyyətindən və katalizatorun aktivliyindən asılıdır. Müasir neft emalı zavodlarında bu proses davamlı rejimdə həyata keçirilir və yüksək səviyyədə avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri ilə tənzimlənir.

Beləliklə, hidrotəmizləmə prosesi neft emalı texnologiyasında mühüm yer tutur və birbaşa qovulmuş benzinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün əsas mərhələ hesab olunur.

Reaktor bloku. Reaktor hidrotəmizləmə qurğusunun əsas hissəsidir və burada əsas kimyəvi reaksiyalar baş verir. Benzin və hidrogen qarışığı katalizator yatağından keçərək yüksək temperatur və təzyiqli şəraitində reaksiya verir. Reaktor adətən sabit yataqlı (fixed-bed) tiptə olur və içərisində Co-Mo və ya Ni-Mo əsaslı katalizatorlar yerləşdirilir. Katalizator səthi üzərində kükürd və azot tərkibli birləşmələrin hidrogenləşməsi baş verir.

Reaktor daxilində temperaturun bərabər paylanması çox vacibdir, çünki ekzotermik reaksiyalar nəticəsində lokal istilik artımı katalizatorun deqradasiyasına səbəb ola bilər. Buna görə də reaktor konstruksiyasında istilik nəzarət sistemləri və çoxqatlı katalizator yataqları tətbiq olunur.

Hidrogen təchizat sistemi - Hidrogen hidrotəmizləmə prosesinin əsas reagentlərindən biridir. Hidrogen təchizat sistemi qazın saxlanması, sıxılması və reaktora verilməsini təmin edir. Sənaye praktikasında hidrogen adətən reforminq qurğularından və ya təmizləmə bloklarından əldə edilir. Hidrogen kompressorlar vasitəsilə lazımı təzyiqli qədər sıxılır və reaktora daxil edilir. Hidrogenin miqdarı (H_2 /karbohidrogen nisbəti) prosesin səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Aşağı hidrogen miqdarı reaksiyanın tam getməməsinə, yüksək miqdar isə iqtisadi itkilərə səbəb ola bilər.

İstilik dəyişdiriciləri (heat exchangers) prosesin enerji balansını tənzimləyən əsas elementlərdən biridir. Reaktora daxil olan xammal adətən əvvəlcə çıxış axınlarının istiliyi hesabına qızdırılır. Bu yanaşma enerji səmərəliliyini artırır və əlavə yanacaq sərfiyyatını azaldır. İstilik dəyişdiricilərinin düzgün işləməsi prosesin stabil temperatur rejiminin saxlanılmasında mühüm rol oynayır. Əgər istilik balans pozularsa, reaktor daxilində reaksiyanın sürəti dəyişə və katalizatorun aktivliyi azala bilər.

Separator blokları - Reaksiyadan çıxan qarışıq qaz və maye fazalardan ibarət olur. Separatorlar bu fazaların ayrılması üçün istifadə edilir. Birinci mərhələdə yüksək təzyiqli separatorlarda qaz və maye ilkin olaraq ayrılır, daha sonra aşağı təzyiqli separatorlarda əlavə təmizləmə aparılır.

Qaz fazasında əsasən hidrogen sulfid (H_2S), ammoniyak (NH_3) və artıq hidrogen olur. Bu qazlar sonradan qaz təmizləmə və ya təkrar dövriyyə sistemlərinə göndərilir. Maye faza isə təmizlənmiş benzin məhsulunu təşkil edir.

Kompressor və dövriyyə sistemi. Hidrogenin səmərəli istifadəsi üçün onun bir hissəsi prosese geri qaytarılır. Bu məqsədlə dövriyyə (recycle) kompressorları istifadə olunur. Bu sistem hidrogenin itkisinin qarşısını alır və prosesin iqtisadi səmərəliliyini artırır.

Kompressorların işi avtomatik idarəetmə sistemləri ilə tənzimlənir. Təzyiqli və axın göstəricilərinə əsasən kompressorun gücü dəyişdirilir və optimal rejim saxlanılır. Qurğuda əmələ gələn H_2S qazı yüksək toksik xüsusiyyətə malikdir və mütləq şəkildə təmizlənməlidir. Bunun üçün amin təmizləmə sistemləri və ya xüsusi absorberlər istifadə olunur. Təhlükəsizlik məqsədilə qaz sızmalarının aşkarlanması üçün sensor sistemləri quraşdırılır.

Bundan əlavə, təzyiqlin normadan artıq artması və ya temperaturun kritik həddə çatması zamanı avtomatik təhlükəsizlik sistemləri (Emergency Shutdown – ESD) işə düşür və qurğunu təhlükəsiz vəziyyətə keçirir.

Hidrotəmizləmə prosesində avtomatlaşdırma sistemlərinin tətbiqi. Müasir neft emalı sənayesində hidrotəmizləmə prosesinin səmərəli və təhlükəsiz aparılması avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi olmadan təsəvvür edilmir. Prosesin yüksək temperatur və təzyiqli şəraitində, həmçinin hidrogen kimi partlayıcı və yüksək reaktivliyə malik qazın iştirakı ilə həyata keçirilməsi idarəetmədə yüksək dəqiqlik və operativ nəzarət tələb edir. Bu səbəbdən texnoloji rejimin sabit saxlanılması, məhsul keyfiyyətinin təmin edilməsi və qəza risklərinin minimuma endirilməsi üçün avtomatlaşdırma sistemləri əsas rol oynayır.

Hidrotəmizləmə prosesində avtomatlaşdırmanın əsas məqsədi bütün texnoloji parametrlərin optimal səviyyədə saxlanılması və prosesin davamlılığının təmin edilməsidir. Bu sistemlər temperatur, təzyiqli, hidrogen sərfiyyatı və xammal axını kimi göstəriciləri fasiləsiz izləyir və onların

dəyişməsinə uyğun olaraq idarəetmə qərarları qəbul edir. Beləliklə, prosesin sabitliyi artır, insan müdaxiləsinə ehtiyac azalır və ümumi istehsal səmərəliliyi yüksəlir.

Avtomatlaşdırma sistemlərinin əsasını ölçmə və nəzarət cihazları təşkil edir. Hidrotəmizləmə qurğusunda temperatur sensorları, təzyiqliq ötürücüləri, axın ölçən cihazlar və qaz analizatorları geniş istifadə olunur. Bu cihazlar real vaxt rejimində məlumat toplayaraq idarəetmə sistemində ötürür. Əldə olunan məlumatlar prosesin faktiki vəziyyətini əks etdirir və idarəetmə alqoritmlərinin düzgün işləməsi üçün əsas baza rolunu oynayır.

Sənaye praktikasında hidrotəmizləmə prosesinin idarə olunmasında Programmable Logic Controller (PLC) sistemləri geniş tətbiq olunur. PLC sistemləri sensorlardan daxil olan siqnalları emal edərək icra mexanizmlərinə idarəetmə əmrləri göndərir. Məsələn, reaktorda temperaturun normadan aşağı düşməsi halında qızdırma sistemi aktivləşdirilir, təzyiqliq artması zamanı isə müvafiq boşaltma və ya tənzimləyici klapanlar işə salınır. Bu yanaşma prosesin avtomatik şəkildə stabilləşdirilməsini təmin edir.

Bundan əlavə, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemləri hidrotəmizləmə prosesinin mərkəzləşdirilmiş şəkildə idarə olunmasına imkan yaradır. SCADA vasitəsilə operatorlar bütün texnoloji qurğunu real vaxt rejimində izləyə bilir, parametrləri qrafik və cədvəl formasında təhlil edir və yaranan nasazlıqlara operativ müdaxilə edə bilirlər. Sistem eyni zamanda bütün proses tarixçəsini yadda saxlayaraq analitik qiymətləndirmə aparmaq imkanı yaradır.

Prosesin sabitliyinin təmin olunmasında PID (Proportional–Integral–Derivative) tənzimləyicilər mühüm rol oynayır. Bu tənzimləyicilər geribildirim prinsipi əsasında işləyərək temperatur və təzyiqlik kimi əsas parametrlərdə baş verən kənarlaşmaları avtomatik korreksiya edir. Nəticədə sistem daimi tarazlıq vəziyyətinə yaxın işləyir və məhsul keyfiyyətində sabitlik təmin olunur.

Avtomatlaşdırma sistemləri həmçinin təhlükəsizlik baxımından da mühüm əhəmiyyət daşıyır. Hidrotəmizləmə prosesində yüksək təzyiqlik və hidrogen istifadəsi ciddi risk faktorları yaradır. Buna görə də sistemlər kritik vəziyyətləri avtomatik aşkarlayaraq Emergency Shutdown (ESD) rejiminə keçə bilir. Təzyiqliq normadan kəskin artması, temperaturun kritik həddə çatması və ya qaz sızmasının aşkar edilməsi hallarında qurğu avtomatik şəkildə təhlükəsiz vəziyyətə gətirilir.

Nəticə etibarilə, hidrotəmizləmə prosesində avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi prosesin texnoloji səmərəliliyini artırır, enerji itkilərini azaldır və ekoloji göstəricilərin yaxşılaşmasına şərait yaradır. Müasir neft emalı sənayesində bu sistemlər artıq yalnız köməkçi vasitə deyil, prosesin əsas idarəetmə elementi kimi çıxış edir.

Hidrotəmizləmə prosesinin təhlükəsizliyi və idarəetmənin etibarlılığı.

Hidrotəmizləmə prosesində yüksək təzyiqlik, yüksək temperatur və hidrogen qazının istifadəsi bu texnoloji mərhələni potensial təhlükəli sənaye proseslərindən biri kimi xarakterizə edir. Buna görə də prosesin təhlükəsiz idarə olunması neft emalı zavodlarında əsas prioritetlərdən hesab olunur. Təhlükəsizlik yalnız avadanlıqların qorunması deyil, həm də personalın və ətraf mühitin mühafizəsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Prosesdə baş verə biləcək əsas risklərə təzyiqliq normadan artıq yüksəlməsi, temperaturun kritik həddə çatması, hidrogen sızmaları və katalizator yatağında qeyri-sabit reaksiyalar daxildir. Bu halların qarşısının alınması üçün avtomatlaşdırılmış təhlükəsizlik sistemləri tətbiq olunur. Sensorlar vasitəsilə hər bir texnoloji parametr fasiləsiz izlənilir və normadan kənarlaşma aşkar edildikdə sistem dərhal xəbərdarlıq siqnalı verir.

Müasir hidrotəmizləmə qurğularında Emergency Shutdown (ESD) sistemi xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Bu sistem kritik vəziyyət yarandıqda qurğunu avtomatik olaraq təhlükəsiz rejimə keçirir. Məsələn, hidrogen sızması aşkar edildikdə və ya reaktorda təzyiqlik təhlükəli səviyyəyə yüksəldikdə, ESD sistemi xammal axını dayandırır və sistemin zərər görməsinin qarşısını alır. Bu yanaşma həm texnoloji avadanlıqların qorunmasına, həm də qəza risklərinin minimuma endirilməsinə imkan yaradır.

Təhlükəsizliyin təmin olunmasında siqnalizasiya və monitoring sistemləri də mühüm rol oynayır. SCADA sistemi vasitəsilə operatorlar prosesin bütün mərhələlərini real vaxtda izləyə bilir və hər hansı anormallıq dərhal vizual və səsli siqnallar vasitəsilə bildirilir. Bu, operativ müdaxilə üçün mühüm üstünlük yaradır.

Bundan əlavə, sənaye standartlarına uyğun olaraq hidrotəmizləmə qurğularında çoxsəviyyəli təhlükəsizlik tədbirləri tətbiq olunur. Buraya mexaniki qoruyucu klapanlar, avtomatik bağlama sistemləri və təzyiqli boşaltma mexanizmləri daxildir. Bu sistemlər bir-birini tamamlayaraq kompleks təhlükəsizlik şəbəkəsi yaradır.

Nəticə olaraq, hidrotəmizləmə prosesində təhlükəsizlik sistemlərinin düzgün qurulması və etibarlı işləməsi istehsalın fasiləsizliyini təmin etməklə yanaşı, böyük sənaye qəza risklərinin qarşısını alır və ümumi texnoloji sabitliyi artırır.

Ekoloji və iqtisadi səmərəlilik

Hidrotəmizləmə prosesinin tətbiqi neft emalı sənayesində həm ekoloji, həm də iqtisadi baxımdan mühüm nəticələr verir. Bu prosesin əsas məqsədi yanacaqın tərkibində olan kükürd, azot və digər zərərli birləşmələrin azaldılmasıdır ki, bu da atmosfərə atılan zərərli emissiyaların əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olur.

Ekoloji baxımdan hidrotəmizləmə nəticəsində kükürd dioksid (SO₂) və azot oksidləri (NO_x) kimi qazların miqdarı minimuma endirilir. Bu isə həm hava keyfiyyətinin yaxşılaşmasına, həm də turşu yağışlarının əmələ gəlmə riskinin azalmasına şərait yaradır. Müasir ekoloji standartlara uyğun yanacaq istehsalı yalnız bu tip təmizləmə proseslərinin effektiv tətbiqi ilə mümkündür.

İqtisadi baxımdan hidrotəmizləmə prosesinin avtomatlaşdırılması istehsal xərclərinin optimallaşdırılmasına imkan verir. Proses parametrlərinin dəqiq idarə olunması enerji sərfiyyatını azaldır, xammaldan daha səmərəli istifadəni təmin edir və məhsul itkisini minimuma endirir. Eyni zamanda, yüksək keyfiyyətli yanacaq istehsalı bazarda daha yüksək satış dəyəri yaradır.

Bundan əlavə, avadanlıqların optimal rejimdə işləməsi onların istismar müddətini uzadır və təmir xərclərini azaldır. Bu da uzunmüddətli perspektivdə müəssisənin ümumi iqtisadi səmərəliliyini artırır.

Beləliklə, hidrotəmizləmə prosesinin tətbiqi yalnız texnoloji zərurət deyil, həm də ekoloji davamlılıq və iqtisadi effektivlik baxımından strateji əhəmiyyətə malik bir prosesdir.

Nəticə

Birbaşa qovulmuş benzinin hidrotəmizlənməsi prosesi neft emalı sənayesində yüksək keyfiyyətli və ekoloji baxımdan təhlükəsiz yanacaq istehsalının əsas mərhələlərindən biridir. Aparılan təhlillər göstərir ki, bu proses nəticəsində xammalın tərkibində olan kükürd, azot və digər zərərli birləşmələr əhəmiyyətli dərəcədə azaldılır və yanacağın istismar xüsusiyyətləri yaxşılaşdırılır. Hidrotəmizləmə prosesinin effektivliyi əsasən texnoloji parametrlərin düzgün seçilməsindən və sabit saxlanılmasından asılıdır. Temperatur, təzyiqli və hidrogen sərfiyyatının optimal idarə olunması məhsul keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi prosesin stabil və təhlükəsiz aparılmasında həlledici rol oynayır. Nəticələr göstərir ki, PLC və SCADA əsaslı idarəetmə sistemləri, həmçinin PID tənzimləyicilər hidrotəmizləmə qurğularında prosesin real vaxt rejimində nəzarətdə saxlanılmasını təmin edir və insan faktorundan yaranan xətalara minimuma endirir. Bu isə həm texnoloji səmərəliliyi, həm də iqtisadi göstəriciləri yaxşılaşdırır.

Ümumilikdə, hidrotəmizləmə prosesinin avtomatlaşdırılması daha təmiz yanacaq istehsalına, enerji itkilərinin azalmasına və ekoloji standartlara uyğunluğun təmin olunmasına imkan yaradır. Bu səbəbdən müasir neft emalı zavodlarında avtomatlaşdırma artıq seçim deyil, zəruri texnoloji tələb kimi qəbul olunur.

ӘДӘБИYYAT

1. Gary, J.H., Handwerk, G.E., Kaiser, M.J. Petroleum Refining: Technology and Economics. CRC Press.
2. Speight, J.G. The Chemistry and Technology of Petroleum. CRC Press.
3. Gary, J.H., Handwerk, G.E. Petroleum Refining: Processes and Operations.
4. Meyers, R.A. Handbook of Petroleum Refining Processes. McGraw-Hill.
5. Bhaskar, T., et al. "Hydrotreating Processes in Petroleum Refining: A Review." Fuel Processing Technology.
6. Gary, J.H., et al. Introduction to Petroleum Refining Engineering.
7. Gary, J.H. & Handwerk, G.E. Modern Petroleum Refining Technology.
8. Fahim, M.A., et al. Fundamentals of Petroleum Refining. Elsevier.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378780>

QAZ PAYLAYICI ŞƏBƏKƏDƏ YANACAĞIN OPTİMAL PAYLANMASI

SALMANOV EMIN SABIR oğlu

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin magistri, Bakı, Azərbaycan

Xülasə. Məqalədə qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacağın optimal paylanması məsələsi araşdırılmışdır. Təbii qazın istehlakçılara fasiləsiz və səmərəli çatdırılması üçün qaz axınının düzgün idarə olunmasının əhəmiyyəti göstərilmişdir. Məqalədə qaz paylayıcı şəbəkələrin iş prinsipi, enerji itkiləri, təzyiq dəyişmələri və kompressor stansiyalarının fəaliyyəti təhlil edilmişdir. Həmçinin optimal paylanmanın təmin olunması üçün istifadə edilən müasir optimallaşdırma metodları, o cümlədən genetik alqoritmlər və süni intellekt yanaşmaları haqqında məlumat verilmişdir. Aparılan araşdırmalar nəticəsində optimal idarəetmənin enerji sərfiyyatını azaltdığı, iqtisadi səmərəliliyi artırdığı və qaz təchizatının etibarlılığını yüksəltdiyi müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: qaz paylayıcı şəbəkə, optimal paylanma, təbii qaz, enerji səmərəliliyi, optimallaşdırma, kompressor stansiyası.

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема оптимального распределения топлива в газораспределительных сетях. Рост потребления природного газа требует эффективного управления его транспортировкой и распределением для обеспечения стабильного, безопасного и экономичного снабжения потребителей. В работе анализируются структура и принципы функционирования газораспределительных систем с акцентом на потери энергии, падение давления и роль компрессорных станций. Также исследуются современные методы оптимизации, включая математическое моделирование, генетические алгоритмы и технологии искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется применению автоматизированных систем управления и мониторинга в реальном времени. Результаты показывают, что оптимальное распределение топлива снижает энергозатраты, уменьшает эксплуатационные расходы и повышает общую устойчивость газовой сети. Кроме того, это способствует снижению утечек газа и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: Газораспределительная сеть, оптимизация топлива, природный газ, энергоэффективность, трубопроводная система, компрессорные станции, математическое моделирование, генетические алгоритмы, искусственный интеллект, SCADA системы.

Abstract: This article examines the problem of optimal fuel distribution in gas distribution networks. The increasing demand for natural gas requires efficient management of its transportation and distribution to ensure stable, safe, and economical supply to consumers. The study analyzes the structure and operating principles of gas distribution systems, with particular attention to energy losses, pressure drops, and the role of compressor stations. It also explores modern optimization methods used to improve system performance, including mathematical modeling, genetic algorithms, and artificial intelligence techniques. The application of automated control systems and real-time monitoring is highlighted as an important factor in improving efficiency and reliability. The results show that optimal fuel distribution reduces energy consumption, minimizes operational costs, and enhances the overall stability of the gas network. In addition, it contributes to environmental protection by reducing gas losses and emissions.

Keywords: Gas distribution network, fuel optimization, natural gas, energy efficiency, pipeline system, compressor stations, mathematical modeling, genetic algorithms, artificial intelligence, SCADA systems.

Giriş

Müasir dövrdə təbii qazın istehlakı artdıqca onun səmərəli şəkildə nəqli və paylanması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaqın optimal paylanması enerji itkilərinin azaldılması, sistemin etibarlı işləməsi və istehlakçıların fasiləsiz qazla təmin olunması baxımından vacib məsələlərdən biridir. Şəbəkə daxilində qaz axınının düzgün idarə olunmaması əlavə enerji sərfiyyatına və iqtisadi itkilərə səbəb ola bilər. Bu səbəbdən qaz paylayıcı sistemlərin optimal idarə olunması üçün müxtəlif optimallaşdırma üsulları və müasir texnologiyalar tətbiq olunur. Məqalədə qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaqın optimal paylanmasının əsas prinsipləri, enerji səmərəliliyinə təsiri və bu sahədə istifadə olunan müasir yanaşmalar araşdırılmışdır.

Əsas hissə

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaqın optimal paylanması enerji sistemlərinin səmərəli fəaliyyətinin təmin olunmasında mühüm rol oynayır. Müasir dövrdə təbii qaza olan tələbatın artması qaz nəqli və paylanması proseslərinin daha dəqiq idarə edilməsini tələb edir. Bu baxımdan qaz axınının düzgün tənzimlənməsi, enerji itkilərinin minimuma endirilməsi və müasir optimallaşdırma üsullarının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Qaz paylayıcı şəbəkələrin optimal idarə olunması yalnız texniki baxımdan deyil, həm də iqtisadi və ekoloji baxımdan vacib hesab olunur.

Qaz paylayıcı şəbəkələrin quruluşu və iş prinsipi. Qaz paylayıcı şəbəkələr təbii qazın hasilat məntəqələrindən istehlakçılara çatdırılması üçün yaradılmış mürəkkəb mühəndis sistemidir. Bu sistemlər magistral qaz kəmərləri, paylayıcı boru xətləri, kompressor stansiyaları, qaz tənzimləyici qurğular və idarəetmə sistemlərindən ibarətdir. Şəbəkənin əsas vəzifəsi qazın təhlükəsiz, fasiləsiz və müəyyən olunmuş təzyiqli səviyyəsində istehlakçılara çatdırılmasını təmin etməkdir.

Təbii qaz əsasən yüksək təzyiqli altında magistral kəmərlərlə uzun məsafələrə nəql olunur. Qazın təzyiqli altında nəql edilməsinin əsas səbəbi onun daha sürətli və daha böyük həcmdə ötürülməsini təmin etməkdir. Lakin qazın boru xətləri boyunca hərəkəti zamanı daxili sürtünmə qüvvələri və hidravlik müqavimət səbəbindən təzyiqli azalması baş verir. Bu səbəbdən qazın hərəkətini davam etdirmək üçün müəyyən məsafələrdə kompressor stansiyaları yerləşdirilir.

Kompressor stansiyaları qazın sıxılaraq təzyiqinin artırılması funksiyasını yerinə yetirir. Bu qurğular qazın uzun məsafələrə fasiləsiz ötürülməsini təmin edir. Kompressorların düzgün işləməsi qaz şəbəkəsinin ümumi səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Əgər kompressorlar optimal rejimdə işləməzsə, enerji sərfiyyatı artır və sistemdə əlavə itkilər yaranır.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə qazın istehlak həcmi daim dəyişir. Qışı aylarında və sənaye müəssisələrinin aktiv fəaliyyət göstərdiyi dövrlərdə qaz sərfiyyatı artır. Buna görə də qaz axınının daim nəzarətdə saxlanması və düzgün tənzimlənməsi vacibdir. Müasir qaz şəbəkələrində bu məqsədlə avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərindən istifadə olunur.

Qaz şəbəkələrində enerji itkiləri və onların yaranma səbəbləri. Qaz paylayıcı sistemlərdə əsas problemlərdən biri enerji itkiləridir. Qazın uzun məsafələrə ötürülməsi zamanı boru xətləri daxilində sürtünmə yaranır və nəticədə təzyiqli itkisi baş verir. Təzyiqin azalması qazın ötürülmə keyfiyyətinə mənfi təsir göstərir və əlavə enerji sərfiyyatı tələb edir.

Enerji itkilərinə təsir edən əsas amillərdən biri boru xəttinin uzunluğudur. Boru xətti nə qədər uzun olarsa, qazın hərəkəti zamanı yaranan müqavimət də bir o qədər çox olur. Bunun nəticəsində təzyiqli itkisi artır və kompressor stansiyalarının daha çox enerji sərf etməsi tələb olunur.

Boru diametri də enerji itkilərinə təsir edən mühüm amillərdəndir. Kiçik diametrlili borularda qazın hərəkət sürəti artır və daxili sürtünmə yüksəlir. Bu isə əlavə enerji itkisinə səbəb olur. Bundan başqa, köhnə və texniki cəhətdən aşınmış boru xətlərində qaz sızmaları baş verə bilər. Qaz sızmaları həm iqtisadi zərərə, həm də təhlükəsizlik problemlərinə səbəb olur.

Kompressor stansiyalarının düzgün idarə olunmaması da enerji itkilərini artırır. Kompressorların artıq yüklənməsi yanacaq sərfiyyatını artırır və avadanlıqların istismar müddətini azaldır. Buna görə də kompressor stansiyalarının optimal iş rejimində fəaliyyət göstərməsi vacibdir.

Müasir qaz şəbəkələrində enerji itkilərinin azaldılması məqsədlə xüsusi monitoring sistemlərindən istifadə edilir. Bu sistemlər vasitəsilə qaz axını, təzyiqli səviyyəsi və temperatur göstəriciləri real vaxt rejimində izlənilir. Nəticədə yaranan problemlər vaxtında müəyyən edilir və operativ tədbirlər görülür. paylaşılmasıdır.

Yanacaqın optimal paylanması əsas məqsədləri. Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaq optimal paylanması sistemin ən vacib idarəetmə proseslərindən biridir. Optimal paylanma dedikdə təbii qazın istehlakçılar arasında ehtiyatlı bölüşdürülməsi nəzərdə tutulur ki, minimum enerji sərfiyyatı ilə maksimum səmərəlilik əldə edilsin. Bu proses zamanı qazın təzyiqi, axın sürəti, ötürülən qazın həcmi və istehlak səviyyəsi daim nəzarətdə saxlanılır. Şəbəkənin düzgün idarə olunmaması enerji itkilərinə, təzyiqin qeyri-sabitliyinə və qaz təchizatında problemlərə səbəb ola bilər. Buna görə də optimal paylanma qaz nəqli sistemlərinin əsas funksiyalarından biri hesab olunur.

Optimal paylanmanın əsas məqsədlərindən biri enerji itkilərinin minimuma endirilməsidir. Qazın boru xətləri ilə ötürülməsi zamanı daxili sürtünmə və hidravlik müqavimət səbəbindən müəyyən enerji itkisi yaranır. Əgər qaz axını düzgün tənzimlənməzsə, kompressor stansiyalarının daha artıq enerji sərf etməsi tələb olunur. Bu isə həm yanacaq sərfiyyatını artırır, həm də iqtisadi baxımdan əlavə xərclərə səbəb olur. Optimal idarəetmə zamanı qaz axınının düzgün paylanması nəticəsində enerji sərfiyyatı azalır və sistem daha səmərəli fəaliyyət göstərir.

Yanacaq optimal paylanmasının digər mühüm məqsədi istehlakçıların fasiləsiz qazla təmin edilməsidir. Qaz istehlakı günün müxtəlif saatlarında və ilin müxtəlif fəsilələrində dəyişir. Xüsusilə qış mövsümündə əhali və sənaye müəssisələri tərəfindən qazdan istifadə əhəmiyyətli dərəcədə artır. Əgər qaz şəbəkəsində düzgün idarəetmə həyata keçirilməzsə, bəzi ərazilərdə təzyiq azalması və qaz çatışmazlığı yaranmağa bilər. Optimal paylanma sistemi isə istehlak səviyyəsindəki dəyişiklikləri nəzərə alaraq qaz axını avtomatik şəkildə tənzimləyir və sistemdə balans yaradır.

Optimal paylanma avadanlıqların təhlükəsiz və uzunmüddətli istismarına da müsbət təsir göstərir. Kompresor stansiyalarının və digər texniki qurğuların normadan artıq yüklənməsi avadanlıqların tez sıradan çıxmasına səbəb olur. Bu isə həm texniki problemlər yaradır, həm də təmir xərclərini artırır. Optimal idarəetmə zamanı avadanlıqların iş rejimi düzgün seçilir və onların yüklənməsi balanslaşdırılır. Nəticədə avadanlıqların xidmət müddəti artır və texniki nasazlıqların yaranma ehtimalı azalır.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə optimal idarəetmə iqtisadi baxımdan da mühüm əhəmiyyətə malikdir. Enerji sərfiyyatının azalması müəssisələrin ümumi istismar xərclərini minimuma endirir. Böyük qaz nəqli sistemlərində cüzi enerji qənaəti belə ümumi xərclərin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb ola bilər. Bundan əlavə, optimal paylanma nəticəsində əlavə yanacaq sərfiyyatının qarşısı alınır və resurslardan daha səmərəli istifadə olunur.

Optimal paylanmanın mühüm üstünlüklərindən biri də fəvqəladə halların qarşısının alınmasıdır. Qaz şəbəkələrində təzyiqin normadan artıq yüksəlməsi və ya aşağı düşməsi təhlükəli vəziyyətlər yarada bilər. Müasir idarəetmə sistemləri qaz axını və təzyiq göstəricilərini daim nəzarətdə saxlayaraq təhlükəli halları əvvəlcədən müəyyən edir. Beləliklə, qəza riskləri azalır və qaz təchizatının təhlükəsizliyi təmin olunur.

Müasir qaz paylayıcı şəbəkələrdə optimal idarəetmənin həyata keçirilməsi üçün avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərindən geniş istifadə edilir. Bu sistemlər qaz sərfiyyatını, təzyiq səviyyəsini və enerji itkilərini real vaxt rejimində analiz edir. Süni intellekt və proqramlaşdırılmış idarəetmə sistemləri vasitəsilə ən optimal iş rejimi seçilir və şəbəkənin fəaliyyəti avtomatik tənzimlənir. Bu yanaşma həm enerji səmərəliliyini artırır, həm də insan amilindən yaranan səhvləri minimuma endirir.

Beləliklə, yanacaq optimal paylanması qaz paylayıcı şəbəkələrin dayanıqlı, təhlükəsiz və səmərəli fəaliyyət göstərməsinin əsas şərtlərindən biridir. Optimal idarəetmə nəticəsində enerji itkiləri azalır, iqtisadi səmərəlilik artır, istehlakçılar fasiləsiz qazla təmin olunur və sistemin ümumi etibarlılığı yüksəlir.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə istifadə olunan optimallaşdırma üsulları. Qaz paylayıcı şəbəkələrin effektiv fəaliyyət göstərməsi üçün optimal idarəetmə mühüm əhəmiyyət daşıyır. Müasir dövrdə qaz nəqli sistemlərinin mürəkkəbliyi artdıqca onların idarə olunması üçün daha dəqiq və çevik optimallaşdırma üsullarına ehtiyac yaranmışdır. Qaz şəbəkələrində optimallaşdırmanın əsas məqsədi enerji itkilərini minimuma endirmək, qaz axınının sabitliyini təmin etmək və sistemin

iqtisadi səmərəliliyini artırmaqdır. Bu məqsədlə müxtəlif riyazi modellərdən, proqramlaşdırma metodlarından və süni intellekt texnologiyalarından istifadə olunur.

Optimallaşdırma prosesi qazın şəbəkə daxilində ən uyğun şəkildə paylanmasını müəyyən etməyə imkan verir. Bu zaman qazın təzyiqi, ötürülmə sürəti, kompressor stansiyalarının fəaliyyəti və istehlak səviyyəsi nəzərə alınır. Şəbəkədə baş verən dəyişikliklərə uyğun olaraq optimal idarəetmə sistemi qaz axınını tənzimləyir və enerji sərfiyyatını minimum səviyyədə saxlamağa çalışır.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə geniş istifadə olunan üsullardan biri riyazi modelləşdirmədir. Riyazi modellər qazın boru xətləri ilə hərəkətini, təzyiq dəyişmələrini və enerji sərfiyyatını hesablamaq üçün tətbiq edilir. Bu modellər vasitəsilə şəbəkənin müxtəlif iş rejimləri əvvəlcədən təhlil olunur və ən optimal variant seçilir. Riyazi modelləşdirmə sistemdə yaranan problemlərin proqnozlaşdırılmasına və onların qarşısının əvvəlcədən alınmasına imkan yaradır.

Qaz şəbəkələrinin optimallaşdırılmasında xətti proqramlaşdırma üsullarından da istifadə olunur. Bu metod əsasən resursların düzgün bölüşdürülməsi üçün tətbiq edilir. Xətti proqramlaşdırma vasitəsilə qazın müxtəlif istiqamətlər üzrə paylanması və enerji sərfiyyatının minimumlaşdırılması hesablanır. Bu üsul sadə strukturlu sistemlərdə yüksək effektivlik göstərir.

Bununla yanaşı, qaz paylayıcı şəbəkələr mürəkkəb texniki sistemlər olduğuna görə qeyri-xətti proqramlaşdırma metodlarından daha geniş istifadə edilir. Çünki qazın hərəkəti zamanı təzyiq dəyişmələri və hidravlik proseslər qeyri-xətti xarakter daşıyır. Qeyri-xətti proqramlaşdırma üsulları bu proseslərin daha dəqiq hesablanmasına imkan verir və optimal idarəetmənin keyfiyyətini artırır.

Müasir dövrdə genetik alqoritmlər qaz şəbəkələrinin optimallaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Genetik alqoritm təbiətdəki təbii seçmə və təkamül prinsiplərinə əsaslanan optimallaşdırma metodudur. Bu üsul müxtəlif mümkün variantları analiz edərək ən uyğun həll yolunu müəyyən edir. Genetik alqoritmlərin əsas üstünlüyü mürəkkəb sistemlərdə optimal nəticəni daha sürətli müəyyən edə bilməsidir.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə genetik alqoritmlər əsasən kompressor stansiyalarının iş rejiminin seçilməsində istifadə olunur. Kompresorların düzgün idarə olunması enerji sərfiyyatının azalmasına və qaz axınının sabit saxlanılmasına kömək edir. Bundan əlavə, genetik alqoritmlər qaz axınının müxtəlif istiqamətlər üzrə düzgün bölüşdürülməsinə də imkan yaradır.

Son illərdə süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi optimallaşdırma prosesini daha da inkişaf etdirmişdir. Süni intellekt sistemləri böyük həcmdə məlumatları qısa müddətdə analiz edərək ən optimal idarəetmə variantını müəyyən edir. Bu sistemlər istehlak səviyyəsində baş verən dəyişiklikləri əvvəlcədən proqnozlaşdırır və şəbəkənin fəaliyyətini buna uyğun şəkildə tənzimləyir.

Maşın öyrənməsi metodları da qaz paylayıcı şəbəkələrdə geniş tətbiq olunur. Bu texnologiyalar əvvəlki məlumatları analiz edərək gələcək qaz sərfiyyatını proqnozlaşdırmağa imkan verir. Məsələn, qış aylarında və ya sənaye müəssisələrinin aktiv işlədiyi dövrlərdə qaz istehlakının artacağı əvvəlcədən müəyyən edilir və sistem buna uyğun şəkildə hazırlanır. Bu yanaşma enerji itkilərinin azalmasına və sistemin dayanıqlı işləməsinə şərait yaradır.

Qaz şəbəkələrinin optimallaşdırılmasında SCADA tipli avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərindən də istifadə edilir. Bu sistemlər vasitəsilə operatorlar qaz axınını, təzyiq göstəricilərini və kompressor stansiyalarının fəaliyyətini real vaxt rejimində izləyə bilirlər. SCADA sistemləri qaz şəbəkəsində yaranan nasazlıqları vaxtında müəyyən etməyə və operativ tədbirlər görməyə imkan yaradır.

Optimallaşdırma üsullarının tətbiqi qaz paylayıcı şəbəkələrin təhlükəsizliyinin artırılmasına da mühüm təsir göstərir. Təzyiqin normadan artıq yüksəlməsi və ya qaz sızmaları ciddi təhlükələr yarada bilər. Müasir idarəetmə sistemləri bu cür halları əvvəlcədən müəyyən edir və təhlükənin qarşısının alınması üçün avtomatik tədbirlər həyata keçirir.

Bundan əlavə, optimallaşdırma üsulları iqtisadi baxımdan da mühüm üstünlüklər yaradır. Enerji sərfiyyatının azalması müəssisələrin maliyyə xərclərini minimuma endirir və qaz nəqli prosesinin ümumi səmərəliliyini artırır. Böyük qaz şəbəkələrində optimal idarəetmə nəticəsində milyonlarla kubmetr qaz itkisinə qənaət etmək mümkün olur.

Beləliklə, qaz paylayıcı şəbəkələrdə istifadə olunan optimallaşdırma üsulları sistemin dayanıqlı, təhlükəsiz və səmərəli fəaliyyət göstərməsində mühüm rol oynayır. Müasir texnologiyaların və süni intellekt sistemlərinin inkişafı gələcəkdə qaz nəqli proseslərinin daha dəqiq və effektiv idarə olunmasına geniş imkanlar yaradacaqdır.

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin rolu. Müasir qaz paylayıcı şəbəkələrdə avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri qazın təhlükəsiz, fasiləsiz və səmərəli şəkildə ötürülməsində mühüm rol oynayır. Qaz nəqli sistemlərinin mürəkkəbliyi artdıqca onların insan tərəfindən tam şəkildə idarə olunması çətinləşir. Buna görə də müasir qaz şəbəkələrində avtomatik nəzarət və idarəetmə texnologiyalarından geniş istifadə edilir. Bu sistemlər vasitəsilə qaz axını, təzyiq səviyyəsi, temperatur göstəriciləri və enerji sərfiyyatı real vaxt rejimində izlənilir və idarə olunur.

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin əsas məqsədi qaz paylayıcı şəbəkələrin iş rejimini optimallaşdırmaqdır. Sistem daxilində baş verən dəyişikliklər xüsusi sensorlar vasitəsilə qeydə alınır və mərkəzi idarəetmə sistemində ötürülür. Toplanan məlumatlar analiz olunur və şəbəkənin ən optimal iş rejimi müəyyən edilir. Bu yanaşma enerji itkilərinin azalmasına və sistemin dayanıqlı fəaliyyət göstərməsinə imkan yaradır.

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə ən geniş istifadə olunan idarəetmə texnologiyalarından biri SCADA sistemidir. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi qaz nəqli proseslərinə uzaq məsafədən nəzarət etməyə imkan verir. Bu sistem vasitəsilə operatorlar kompressor stansiyalarının fəaliyyətini, boru xətlərindəki təzyiq göstəricilərini və qaz sərfiyyatını monitor ekranlarında izləyə bilirlər. Əgər sistemdə nasazlıq və ya təhlükəli vəziyyət yaranarsa, SCADA avtomatik xəbərdarlıq signalı göndərir.

Məsələn, magistral qaz kəmərinə təzyiğin normadan aşağı düşməsi qaz sızmasının göstəricisi ola bilər. SCADA sistemi bunu dərhal qeydə alır və operatora məlumat verir. Nəticədə qəza böyümədən qarşısı alınır. Bu cür avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemləri həm təhlükəsizliyi artırır, həm də maddi itkilərin qarşısını alır.

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin mühüm üstünlüklərindən biri enerji sərfiyyatının optimallaşdırılmasıdır. Ən çox enerji sərf edən qurğular kompressor stansiyaları hesab olunur. Kompresorların düzgün idarə olunmaması əlavə yanacaq sərfiyyatına səbəb olur. Müasir idarəetmə sistemləri isə qaz axınını analiz edərək kompressorların iş rejimini avtomatik tənzimləyir. Məsələn, qaz istehlakı azaldıqda sistem kompressorların gücünü aşağı salır və beləliklə enerji sərfiyyatı minimuma endirilir.

Avtomatlaşdırılmış sistemlər qaz sərfiyyatının proqnozlaşdırılmasında da mühüm rol oynayır. Süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyaları vasitəsilə əvvəlki illərin məlumatları analiz edilir və gələcək istehlak səviyyəsi müəyyən olunur. Məsələn, qış aylarında temperatur aşağı düşdükdə qaz sərfiyyatının artacağı əvvəlcədən proqnozlaşdırılır və sistem buna uyğun şəkildə hazırlanır. Bu yanaşma qaz çatışmazlığının qarşısını almağa və sistemin fasiləsiz işləməsinə imkan verir.

Müasir qaz şəbəkələrində istifadə olunan ağıllı sensorlar da idarəetmə prosesində mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu sensorlar qazın təzyiqini, temperaturunu və axın sürətini ölçərək mərkəzi sistemə ötürür. Əldə olunan məlumatlar əsasında qaz axını avtomatik şəkildə tənzimlənir. Beləliklə, insan müdaxiləsinə ehtiyac azalır və idarəetmə daha dəqiq həyata keçirilir.

Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri fəvqəladə halların qarşısının alınmasında da mühüm rol oynayır. Qaz şəbəkələrində baş verən partlayışların əsas səbəblərindən biri təzyiğin normadan artıq yüksəlməsi və ya qaz sızmalarıdır. Müasir idarəetmə sistemləri bu cür halları əvvəlcədən müəyyən edir və təhlükənin qarşısını almaq üçün avtomatik tədbirlər görür. Məsələn, boru xəttində qəfil təzyiq artımı baş verdikdə sistem avtomatik olaraq qaz axınını azaldır və ya müəyyən hissələri bağlayır.

Dünyanın bir çox inkişaf etmiş ölkələrində avtomatlaşdırılmış qaz idarəetmə sistemləri geniş tətbiq olunur. Məsələn, Almaniya və Yaponiya kimi ölkələrdə rəqəmsal idarəetmə texnologiyalarının tətbiqi nəticəsində qaz şəbəkələrində enerji itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə

azalmışdır. Bu sistemlər vasitəsilə qaz sərfiyyatına nəzarət daha dəqiq həyata keçirilir və texniki nasazlıqlar qısa müddətdə aradan qaldırılır.

Azərbaycanda da qaz nəqli sistemlərinin modernləşdirilməsi istiqamətində mühüm işlər görülür. Müasir monitoring və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi nəticəsində qaz paylayıcı şəbəkələrin təhlükəsizliyi və səmərəliliyi artırılmışdır. Xüsusilə böyük şəhərlərdə qaz sərfiyyatına nəzarətin avtomatlaşdırılması enerji itkilərinin azalmasına müsbət təsir göstərmişdir.

Beləliklə, avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri qaz paylayıcı şəbəkələrin təhlükəsiz, dayanıqlı və səmərəli fəaliyyət göstərməsində mühüm rol oynayır. Müasir rəqəmsal texnologiyaların və süni intellekt sistemlərinin inkişafı gələcəkdə qaz nəqli proseslərinin daha dəqiq idarə olunmasına və enerji resurslarından daha səmərəli istifadəyə geniş imkanlar yaradacaqdır.

Qaz paylayıcı şəbəkələrin iqtisadi və ekoloji əhəmiyyəti. Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaq optimal paylanması yalnız texniki məsələ deyil, eyni zamanda böyük iqtisadi və ekoloji əhəmiyyət daşıyan bir prosesdir. Müasir enerji sistemlərində təbii qaz əsas enerji mənbələrindən biri hesab olunur və onun səmərəli idarə olunması ölkələrin iqtisadi inkişafına, sənaye istehsalına və ətraf mühitin qorunmasına birbaşa təsir göstərir. Buna görə də qaz şəbəkələrinin düzgün işləməsi həm dövlət, həm də istehlakçılar üçün strateji əhəmiyyət daşıyır.

İqtisadi baxımdan qaz paylayıcı şəbəkələrin optimal idarə olunması enerji xərclərinin azaldılmasına səbəb olur. Qazın nəqli zamanı yaranan enerji itkiləri, xüsusilə kompressor stansiyalarının artıq yanacaq sərfiyyatı, ümumi istismar xərclərini artırır. Əgər şəbəkə düzgün optimallaşdırılırsa, bu itkilər minimuma endirilir və nəticədə milyonlarla kubmetr qaz qənaət olunur. Məsələn, iri qaz nəqli sistemlərində kompressorların iş rejiminin optimallaşdırılması illik enerji xərclərində ciddi azalmaya səbəb ola bilər. Bu isə həm şirkətlər, həm də istehlakçılar üçün iqtisadi üstünlük yaradır.

Qaz şəbəkələrinin iqtisadi səmərəliliyi həm də infrastrukturun daha uzun müddət istismar olunmasına şərait yaradır. Optimal idarəetmə nəticəsində boru xətlərinə düşən yük balanslaşdırılır və avadanlıqların aşınma sürəti azalır. Bu da təmir və yenilənmə xərclərini azaldır. Nəticədə qaz nəqli sistemlərinin ümumi istismar müddəti artır və əlavə investisiya ehtiyacı azalır.

Ekoloji baxımdan qaz paylayıcı şəbəkələrin düzgün idarə olunması ətraf mühitin qorunmasında mühüm rol oynayır. Təbii qaz digər fosil yanacaqlara nisbətən daha təmiz enerji mənbəyi hesab olunsa da, onun daşınması zamanı baş verən sızmalar və artıq yanacaq sərfiyyatı atmosferə mənfi təsir göstərə bilər. Xüsusilə metan qazı güclü istixana effekti yaradan qazlardan biridir və onun atmosferə sızması iqlim dəyişmələrini sürətləndirə bilər.

Optimal paylanma sistemləri qaz sızmalarının vaxtında aşkar olunmasına və qarşısının alınmasına imkan verir. Müasir sensor texnologiyaları və monitoring sistemləri vasitəsilə boru xətlərindəki minimal sızmalar belə müəyyən edilir. Bu isə həm ekoloji zərərin azaldılmasına, həm də təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsinə kömək edir.

Ekoloji baxımdan digər mühüm məqam karbon emissiyalarının azaldılmasıdır. Kompresor stansiyalarında yanacaq sərfiyyatı azaldıqca atmosferə atılan karbon qazının miqdarı da azalır. Bu isə global istiləşmə prosesinin yavaşlamasına müsbət təsir göstərir. Bir çox beynəlxalq tədqiqatlar göstərir ki, qaz şəbəkələrinin optimallaşdırılması nəticəsində karbon emissiyalarında əhəmiyyətli azalma əldə etmək mümkündür.

Qaz paylayıcı şəbəkələrin ekoloji əhəmiyyəti həm də enerji resurslarının səmərəli istifadəsi ilə bağlıdır. Enerjinin düzgün idarə olunması təbii resursların israfının qarşısını alır və davamlı inkişaf prinsiplərinə uyğun enerji istifadəsini təmin edir. Bu baxımdan qaz şəbəkələrinin optimallaşdırılması “yaşıl enerji” strategiyalarının mühüm tərkib hissəsi hesab olunur.

Dünya təcrübəsində bir çox ölkələr ekoloji cəhətdən təhlükəsiz qaz şəbəkələrinin qurulmasına xüsusi diqqət yetirirlər. Məsələn, Avropa ölkələrində qaz nəqli sistemlərində karbon emissiyalarının azaldılması üçün xüsusi standartlar tətbiq olunur və müasir monitoring sistemləri geniş istifadə edilir. Bu yanaşma həm iqtisadi səmərəliliyi artırır, həm də ətraf mühitin qorunmasına töhfə verir.

Azərbaycanda da qaz paylayıcı şəbəkələrin modernləşdirilməsi istiqamətində ekoloji və iqtisadi səmərəlilik əsas prioritetlərdən biri kimi qəbul edilir. Müasir texnologiyaların tətbiqi

nəticəsində qaz itkiləri azalmış, şəbəkənin idarə olunması daha effektiv və təhlükəsiz hala gətirilmişdir. Bu isə ölkənin enerji sektorunun inkişafına və ekoloji balansın qorunmasına müsbət təsir göstərir.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, qaz paylayıcı şəbəkələrin iqtisadi və ekoloji əhəmiyyəti olduqca böyükdür. Optimal idarəetmə nəticəsində enerji xərcləri azalır, resurslardan səmərəli istifadə olunur, karbon emissiyaları aşağı düşür və ətraf mühit qorunur. Gələcəkdə rəqəmsal texnologiyaların və süni intellekt sistemlərinin inkişafı bu sahədə daha yüksək səmərəlilik əldə etməyə imkan verəcəkdir.

Nəticə

Qaz paylayıcı şəbəkələrdə yanacaqın optimal paylanması enerji sistemlərinin səmərəli və dayanıqlı işləməsində mühüm rol oynayır. Aparılan araşdırmalar göstərir ki, düzgün idarəetmə nəticəsində enerji itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldıla bilər. Kompresor stansiyalarının və boru xətlərinin optimal rejimdə işləməsi həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan böyük üstünlüklər yaradır. Müasir optimallaşdırma üsulları, xüsusilə riyazi modellər, genetik alqoritmlər və süni intellekt texnologiyaları qaz axınının daha dəqiq idarə olunmasına imkan verir. Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin tətbiqi şəbəkənin təhlükəsizliyini artırır və insan müdaxiləsindən yaranan səhvləri minimuma endirir. Eyni zamanda, optimal paylanma nəticəsində qaz sızmalarının və ətraf mühitə zərərli təsirlərin azalması təmin olunur. Bu yanaşma həm iqtisadi səmərəliliyi artırır, həm də ekoloji tarazlığın qorunmasına töhfə verir. Ümumilikdə, qaz paylayıcı şəbəkələrdə optimal idarəetmə müasir enerji sistemlərinin əsas tələblərindən biri kimi çıxış edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Optimal operation of a multi-distribution natural gas pipeline grid: an ant colony approach – SpringerLink
2. Optimization of a natural gas distribution network with potential future extensions – ScienceDirect
3. Study on optimal operation of natural gas pipeline network based on improved genetic algorithm – SAGE Journals
4. Optimal Energy Consumption Analysis of Natural Gas Pipeline – PubMed Central (PMC)
5. Technical and economic optimization of natural gas transmission network operation – SAGE Journals
6. General literature on gas distribution networks and SCADA systems (ümumi elmi materiallar və dərsliklərdən istifadə olunmuşdur)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378846>

УДК

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

ҚАЙНИЕВ ЕРАСЫЛ СЕРІКБОЛУЛЫ

Студент НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»

Научный руководитель – Е. В. БЛИНАЕВА

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Аннотация: В статье рассматривается проблема мониторинга качества нефтепродуктов, реализуемых на территории Восточно-Казахстанской области. Актуальность темы обусловлена высокой зависимостью транспортной, промышленной и коммунальной инфраструктуры региона от стабильного качества топлива, а также необходимостью снижения экологических и техногенных рисков. Некачественные нефтепродукты могут приводить к увеличению выбросов загрязняющих веществ, нарушению работы двигателей, росту пожароопасности и снижению эффективности эксплуатации техники. В работе обобщены основные физико-химические показатели, применяемые при оценке качества нефтепродуктов: содержание серы, плотность, вязкость, температура вспышки и октановое число. Рассмотрены ограничения традиционного лабораторного контроля, связанные с ручной обработкой протоколов и отсутствием единой цифровой базы данных. Обоснована целесообразность внедрения информационно-аналитической системы, включающей автоматизированное извлечение данных из лабораторных протоколов, расчет интегрального показателя экологического риска и применение методов машинного обучения для выявления аномальных образцов. Предложен подход к формированию *EcoRiskIndex* как комплексной оценки состояния нефтепродукта на основе совокупности признаков.

Ключевые слова: нефтепродукты, качество топлива, экологический мониторинг, Восточно-Казахстанская область, машинное обучение, лабораторный контроль, *EcoRiskIndex*, цифровизация.

Введение: Качество нефтепродуктов является важным фактором экологической, промышленной и транспортной безопасности. Автомобильный бензин, дизельное топливо и другие виды нефтепродуктов широко используются в повседневной и производственной деятельности, поэтому их несоответствие установленным требованиям может иметь как технические, так и экологические последствия.

Для Восточно-Казахстанской области данная проблема имеет особое значение. Регион характеризуется развитой промышленностью, активным использованием автомобильного транспорта, значительными расстояниями между населенными пунктами и высокой ролью топливно-энергетических ресурсов в обеспечении хозяйственной деятельности. В этих условиях мониторинг качества нефтепродуктов должен рассматриваться не только как элемент лабораторного контроля, но и как часть региональной системы экологической безопасности.

Традиционный контроль качества основан на лабораторных испытаниях, в ходе которых определяются физико-химические показатели топлива и проводится их сопоставление с нормативными значениями. Однако при большом количестве протоколов и разнородности форматов документов ручная обработка данных становится трудоемкой. Кроме того, анализ отдельных показателей не всегда позволяет выявить скрытые закономерности, возникающие при одновременном отклонении нескольких параметров.

В связи с этим актуальным направлением становится цифровизация мониторинга качества нефтепродуктов. Она предполагает переход от разрозненных протоколов к структурированной системе сбора, хранения, анализа и визуализации лабораторных данных. Дополнительные возможности открывает применение методов машинного обучения, которые позволяют выявлять аномальные образцы, классифицировать нефтепродукты по уровню риска и формировать комплексную оценку их состояния.

Цель статьи - обобщить современные подходы к мониторингу качества нефтепродуктов и обосновать возможность применения цифровых технологий и машинного обучения для анализа нефтепродуктов, реализуемых на территории Восточно-Казахстанской области.

Оценка качества нефтепродуктов выполняется по совокупности физико-химических показателей. Каждый из них отражает определенную характеристику топлива и может указывать на возможные нарушения состава, хранения, транспортировки или реализации [5-8].

Одним из ключевых экологических показателей является **содержание серы**. Повышенное содержание сернистых соединений связано с образованием вредных выбросов при сгорании топлива, а также с ухудшением работы систем очистки отработавших газов. Поэтому данный показатель должен иметь высокий приоритет при оценке экологического риска.

Плотность характеризует массу нефтепродукта в единице объема и косвенно отражает его фракционный состав. Значительные отклонения плотности от нормального диапазона могут свидетельствовать о наличии тяжелых примесей, загрязнении или разбавлении продукта более легкими компонентами.

Вязкость определяет текучесть нефтепродукта. Для дизельного топлива и других жидких нефтепродуктов этот показатель влияет на подачу, распыление и сгорание топлива. Повышенная вязкость может быть связана с тяжелыми фракциями или загрязнением, а пониженная - с разбавлением.

Температура вспышки используется для оценки пожароопасности. Если данный показатель ниже допустимого значения, это может указывать на присутствие легколетучих компонентов и повышенный риск при хранении или транспортировке.

Октановое число применяется для характеристики бензина и отражает его устойчивость к детонации. Снижение октанового числа может свидетельствовать о нарушении рецептуры, разбавлении или общем ухудшении качества топлива.

Комплексный анализ этих показателей позволяет получить более объективную оценку состояния нефтепродукта, чем рассмотрение каждого параметра отдельно.

Показатель	Назначение в контроле	Возможная интерпретация отклонения
Содержание серы	Оценка экологической опасности топлива	Повышение вредных выбросов, ухудшение экологического класса
Плотность	Характеристика состава нефтепродукта	Примеси, изменение фракционного состава, разбавление
Вязкость	Оценка текучести и эксплуатационных свойств	Загрязнение, тяжелые фракции, нарушение состава
Температура вспышки	Оценка пожароопасности	Наличие легколетучих примесей

Октановое число	Оценка качества бензина	Нарушение рецептуры, снижение детонационной стойкости
-----------------	-------------------------	---

Таблица 1 - Основные физико-химические показатели качества нефтепродуктов и их диагностическое значение

Данные показатели позволяют сформировать базовый набор признаков для последующей цифровой обработки и применения методов машинного обучения. Их комплексный анализ дает более полное представление о состоянии нефтепродукта, чем оценка каждого параметра отдельно.

Проблемы Традиционного Лабораторного Контроля: Лабораторный контроль остается основным способом подтверждения качества нефтепродуктов, однако его практическое применение связано с рядом ограничений.

Во-первых, значительная часть обработки протоколов выполняется вручную. Специалист должен просмотреть документ, найти необходимые показатели, перенести значения, сопоставить их с нормативами и сформировать заключение. При большом количестве протоколов это увеличивает трудозатраты и вероятность ошибок.

Во-вторых, лабораторные документы могут иметь разную структуру. Показатели могут располагаться в различных таблицах, иметь отличающиеся обозначения и единицы измерения. Это затрудняет автоматическое объединение результатов в единую базу данных.

В-третьих, классическая нормативная проверка часто оценивает показатели изолированно. Однако в реальных условиях риск может формироваться не только за счет критического превышения одного параметра, но и за счет сочетания нескольких умеренных отклонений. Например, небольшое повышение серы вместе с изменением плотности и вязкости может указывать на потенциальное загрязнение или изменение состава топлива.

В-четвертых, отсутствие цифровой истории анализов ограничивает возможность отслеживать динамику качества нефтепродуктов по поставщикам, районам, партиям и периодам времени.

Следовательно, развитие мониторинга качества нефтепродуктов требует внедрения информационных систем, которые способны автоматизировать обработку протоколов и обеспечить аналитическую поддержку принятия решений.

Цифровой подход к мониторингу качества нефтепродуктов: Цифровая система мониторинга должна обеспечивать полный цикл работы с лабораторными данными: загрузку протоколов, извлечение показателей, структурирование информации, анализ, визуализацию и хранение результатов.

Общая логика цифрового мониторинга качества нефтепродуктов может быть представлена в виде последовательности этапов:



Рисунок 1 -

Концептуальная схема цифрового мониторинга качества нефтепродуктов

Такая структура позволяет перейти от разрозненной ручной обработки протоколов к единому информационно-аналитическому процессу. Наиболее важным элементом является этап формирования признаков, поскольку именно он обеспечивает возможность последующего применения методов машинного обучения.

Перспективная архитектура такой системы может включать несколько уровней. На уровне данных хранятся лабораторные протоколы, значения показателей, нормативные диапазоны и история анализов. На уровне обработки выполняется извлечение информации из документов, очистка числовых значений и приведение данных к единому формату. Аналитический уровень отвечает за проверку показателей, расчет интегрального риска и применение моделей машинного обучения. Уровень визуализации предоставляет пользователю результаты в виде таблиц, графиков, диаграмм и рекомендаций.

Для Восточно-Казахстанской области подобная система может быть использована для накопления региональной базы качества нефтепродуктов. В ней каждый образец может описываться типом топлива, местом отбора, датой анализа, поставщиком, физико-химическими показателями и итоговой категорией риска. Наличие такой базы позволит проводить не только разовую проверку, но и анализировать пространственные и временные закономерности качества топлива.

Применение машинного обучения: Машинное обучение является перспективным инструментом для анализа лабораторных данных, поскольку показатели качества нефтепродуктов имеют табличную числовую структуру. Каждый образец может быть представлен в виде вектора признаков:

$$X = [\text{octane, sulfur, density, flash_point, viscosity}]$$

На основе таких признаков возможно решение нескольких аналитических задач.

Первая задача - **обнаружение аномалий**. Она особенно важна в тех случаях, когда отсутствует большой размеченный датасет. Алгоритмы Isolation Forest, Local Outlier Factor, One-Class SVM и DBSCAN могут выявлять образцы, значительно отличающиеся от основной массы наблюдений. Такие образцы требуют дополнительной проверки, поскольку могут указывать на загрязнение, разбавление или нарушение условий хранения.

Вторая задача - **классификация уровня риска**. При наличии размеченных данных образцы могут быть разделены на категории: нормальные, подозрительные, загрязненные, вероятно разбавленные и образцы с высоким экологическим риском. Для классификации могут применяться Random Forest, Gradient Boosting, логистическая регрессия и другие методы [13,14]. Для табличных лабораторных данных особенно удобны ансамблевые модели, поскольку они позволяют учитывать нелинейные зависимости и оценивать значимость отдельных признаков.

Третья задача - **оценка важности показателей**. Модель может показать, какие признаки сильнее всего влияют на итоговую категорию риска. В большинстве случаев наиболее значимыми могут быть содержание серы, плотность и вязкость, поскольку они тесно связаны с экологической опасностью и изменением состава нефтепродукта.

Перед применением моделей данные должны быть подготовлены: очищены, приведены к единому формату и нормализованы. Нормализация необходима потому, что признаки имеют разные масштабы: плотность измеряется сотнями кг/м³, содержание серы - мг/кг, а вязкость - единицами мм²/с. Без предварительной обработки модель может некорректно учитывать вклад отдельных параметров.

Интегральный показатель EcoRiskIndex: Для практического применения результатов анализа целесообразно использовать интегральный показатель экологического риска - **EcoRiskIndex**. Он позволяет представить совокупное состояние нефтепродукта в виде одного числового значения от 0 до 100.

В общем виде EcoRiskIndex может рассчитываться по формуле:

$$\text{EcoRiskIndex} = 100 * \sum w_i * r_i$$

где w_i - вес i -го признака, а r_i - нормализованный риск по соответствующему признаку.

На начальном этапе веса могут задаваться экспертно с учетом значимости показателей. Например, содержание серы может иметь больший вес, так как непосредственно связано с экологическими последствиями сгорания топлива. Плотность и вязкость также имеют высокий вклад, поскольку отражают возможное изменение состава, загрязнение или разбавление нефтепродукта.

После накопления достаточного количества лабораторных данных веса могут быть уточнены с помощью ML-моделей. В этом случае EcoRiskIndex будет учитывать не только нормативные отклонения, но и статистические закономерности, выявленные на основе реальных данных.

Расширенный вариант индекса может включать оценку аномальности:

$$\text{EcoRiskIndex}_{\text{final}} = \alpha * \text{Risk_score} + \beta * \text{Anomaly_score}$$

где **Risk_score** - взвешенная оценка риска по признакам, **Anomaly_score** - результат модели обнаружения аномалий, а α и β - коэффициенты влияния.

Такой подход позволяет объединить экспертную нормативную логику и машинное обучение, что особенно важно для задач экологического мониторинга.

Визуализация и интерпретация результатов: Для практического использования системы важна не только точность расчета, но и понятность результата для специалиста. Поэтому цифровой мониторинг должен включать визуализацию.

Наиболее информативными являются следующие виды представления данных:

Scatter plot - отображает распределение образцов по двум признакам, например по плотности и содержанию серы. Цвет точки может обозначать категорию риска.

Корреляционная матрица - показывает взаимосвязь между показателями и итоговым индексом риска. Она помогает выявить признаки, наиболее связанные с ухудшением качества нефтепродукта.

Feature importance - отображает вклад каждого признака в решение ML-модели. Такая визуализация повышает интерпретируемость анализа и позволяет объяснить, почему образец отнесен к определенной категории.

Для регионального мониторинга также перспективно использование картографической визуализации, где результаты анализа могут отображаться по районам, поставщикам или точкам реализации нефтепродуктов.

Заключение: Мониторинг качества нефтепродуктов, реализуемых на территории Восточно-Казахстанской области, является актуальной научно-прикладной задачей. Его значение связано с обеспечением экологической безопасности, защитой потребителей, снижением технических рисков и повышением прозрачности рынка нефтепродуктов.

Ключевыми показателями для оценки качества топлива являются содержание серы, плотность, вязкость, температура вспышки и октановое число. Их комплексный анализ позволяет выявлять признаки загрязнения, разбавления, нарушения состава и повышенной пожароопасности.

Традиционный лабораторный контроль остается необходимым, однако его эффективность может быть повышена за счет цифровизации. Автоматизированная обработка протоколов, формирование базы данных, визуализация результатов и применение машинного обучения позволяют перейти от разрозненной проверки отдельных образцов к системному региональному мониторингу.

Наиболее перспективным направлением является разработка информационно-аналитической системы, которая объединяет лабораторные данные, ML-модуль, расчет EcoRiskIndex и инструменты визуального анализа. Такая система может стать основой для оценки качества нефтепродуктов в региональном разрезе, выявления аномальных проб и поддержки принятия решений в сфере экологического контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 [1]. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту: утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 826. - URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/H11T0000826> (дата обращения: 13.05.2026).
2. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2014. - 28 с.
3. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2014. - 24 с.
4. ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2014. - 20 с.
5. ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. - М.: Издательство стандартов, 1985. - 16 с.
6. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. - М.: Стандартинформ, 2019. - 24 с.
7. ГОСТ 6356-75. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле. - М.: Издательство стандартов, 1975. - 12 с.
8. ГОСТ ISO 20846-2016. Нефтепродукты. Определение содержания серы в автомобильных топливах методом ультрафиолетовой флуоресценции. - М.: Стандартинформ, 2019. - 20 с.
9. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. - М.: Стандартинформ, 2008. - 38 с.
10. Еремин Н. А., Столяров В. Е. Интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой отрасли // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2019. - № 5. - С. 23-29.
11. Макаров А. Г., Новикова Т. В. Цифровизация лабораторного контроля качества нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2020. - № 7. - С. 34-39.
12. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. - New York: Springer, 2006. - 738 p.
13. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. - 2001. - Vol. 45, № 1. - P. 5-32.
14. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. - 3rd ed. - Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. - 740 p.
15. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z.-H. Isolation Forest // Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Data Mining. - Pisa: IEEE, 2008. - P. 413-422.
16. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter. - 3rd ed. - Sebastopol: O'Reilly Media, 2022. - 579 p.
17. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion B., Grisel O. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. - 2011. - Vol. 12. - P. 2825-2830.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378891>
УДК 621.762

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ SLM НА КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ТЭЦ.

ЗУПАРОВ АБЛАКИМ АБДУСАЛАМУЛЫ

Магистрант Северо-Казахстанского университета им. М.Козыбаева

Научный руководитель – **РАГУШНАЯ Т.Ю.**

Петропавловск, Казахстан

Аннотация: В данной работе проведен комплексный анализ влияния основных технологических параметров процесса селективного лазерного плавления (*Selective Laser Melting* или *SLM*), которые влияют на качество изготовления лопаток турбин тепловых электростанций изготовленных, как правило, из нержавеющей стали 316L. Рассмотрены физические особенности формирования деталей с учетом влияния возможностей оборудования и по результатам установлен обобщающий критерий оценки энергетических условий процесса, определяющий баланс между полным расплавлением порошка и предотвращением перегрева материала и его испарением. На основе анализа данных выявлены рациональные диапазоны параметров, которые позволяют обеспечить высокую плотность и стабильность структуры готовых деталей. Предложены рекомендации позволяющие оптимизировать аддитивное производство ответственных деталей турбин ТЭЦ, работающих в условиях высоких термомеханических нагрузок, гарантируя снижение вероятности образования внутренних дефектов и повышение эксплуатационной надежности оборудования для создания на 3d-принтере.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление, микроструктура, нержавеющая сталь, лазер, мощность лазера.

В современном мире одним из быстрорастущих направлений в промышленной сфере является внедрение на предприятии аддитивных технологий, например послойное создание объемных структур и моделей методами спекания порошка или проволоки. Процесс селективного лазерного спекания или плавления позволяет изготавливать изделия, достаточно близкие по геометрической форме к готовым деталям с достаточно высокими механическими свойствами и высоким коэффициентом использования металла. Использование таких технологий спекания металлического порошка может быть перспективным для изготовления деталей в различных отраслях [1]. Более высокий технологический интерес представляет изготовление деталей из различных металлов, с заданными свойствами. Применение данной технологии может улучшить свойства деталей, работающих в тяжелых или экстремальных условиях, именно такими являются условия работы лопатки турбинного колеса ТЭЦ при высоких температурах, при механических и коррозионных нагрузках, что предъявляет повышенные требования к материалу и технологии их изготовления. Недостатком данного вида производства является получение определенных характеристик и свойств, которые будут зависеть от большого числа факторов при спекании металлического порошка. Все эти характеристики в достаточной мере могут определить физику процесса и математический аппарат, который впоследствии позволит составить методику обработки. Целью настоящей работы является анализ влияния технологических параметров процесса селективного лазерного плавления (SLM) на формирование структуры и свойств изделий и разработка рекомендаций по их оптимизации при изготовлении лопаток турбин ТЭЦ. Сам процесс SLM характеризуется высокой чувствительностью к технологическим параметрам, что затрудняет получение изделий с заданными требованиями качества и минимальными дефектами.

Селективное лазерное плавление относится к числу распространённых аддитивных технологий, применяемых для изготовления металлических изделий и конструкций сложной геометрии, которые невозможно выполнить традиционным методом. Сущность процесса заключается в послойном расплавлении металлического порошка лазерным излучением достаточной мощности с последующим затвердеванием и формированием плотной структуры материала. Формирование изделия осуществляется на основе трёхмерной «нарезанной» на слайсере CAD-модели путём последовательного нанесения и сплавления слоёв порошкового материала.

В отличие от традиционных методов обработки, технология SLM позволяет получать детали с высокой степенью геометрической сложности и минимальным использованием дополнительной оснастки. Однако качество формируемых изделий в значительной степени определяется параметрами процесса, такими как мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя порошка и шаг между соседними треками. Указанные параметры определяют тепловой режим обработки и, как следствие, структуру и свойства материала.

Процесс селективного лазерного плавления сопровождается рядом взаимосвязанных теплофизических и гидродинамических явлений. Одним из ключевых процессов является теплоперенос в порошковом слое, характеризующийся низкой эффективной теплопроводностью вследствие наличия пор между частицами порошка. Это приводит к формированию значительных температурных градиентов и локализации тепловой энергии в зоне воздействия лазерного луча. Оптимизация вышеуказанных параметров процесса SLM позволяет получать изделия с минимальным количеством дефектов, таких как поры и трещины [2].

При воздействии лазерного излучения происходит образование ванны расплава, динамика которой существенно влияет на формирование структуры материала. В расплавленной зоне возникают конвективные потоки, обусловленные градиентами поверхностного натяжения (эффект Марангони), способствующие перераспределению тепла и материала внутри расплава. Данные процессы определяют форму и размеры ванны расплава, а также условия кристаллизации.

Существенное влияние на формирование микроструктуры оказывает высокая скорость охлаждения, достигающая значений порядка 10^3 – 10^7 К/с. Это приводит к образованию мелкодисперсной и зачастую неравновесной структуры материала, отличающейся повышенной прочностью и однородностью по сравнению с традиционными технологиями.

В качестве материала в технологии SLM широко применяется нержавеющая сталь 316L, характеризующаяся высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и устойчивостью к образованию горячих трещин. Порошок 316L, как правило, имеет сферическую форму частиц с узким распределением по размерам (15–45 мкм), что обеспечивает стабильность процесса плавления и равномерность формирования слоёв.

Особенностью порошкового слоя является пониженная эффективная теплопроводность по сравнению с компактным материалом, что усиливает локализацию тепловых потоков и влияет на температурное поле в зоне обработки. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе технологических параметров процесса, например низкая скорость сканирования подразумевает длительное воздействие лазера на материал и, как следствие, увеличение максимальной температуры ванны расплава [3].

Таким образом, формирование структуры и свойств изделий при селективном лазерном плавлении определяется совокупностью теплофизических процессов, интенсивность которых напрямую зависит от технологических параметров обработки. Это обуславливает необходимость детального анализа влияния мощности лазера, скорости сканирования и геометрических параметров процесса на качество получаемых изделий.

Изготовление турбинных лопаток из нержавеющей стали включает в себя сложный процесс и термическую обработку жаропрочной нержавеющей стали для придания ей нужной формы и свойств, так как лопатки должны выдерживать высокие температуры и

коррозию. Часто используются специальные жаропрочные сплавы на основе никеля, а также другие металлы, такие как вольфрам, алюминий и тантал, для улучшения их характеристик. В данной работе сталь 316L рассматривается как модельный материал, широко применяемый в технологии SLM, что позволяет выявить общие закономерности процесса.

Настройки лазера для SLM-технологии зависят от конкретного оборудования и используемого металлического порошка, но основные параметры включают мощность лазера, скорость его перемещения, толщину слоя порошка и размер пятна лазера. Для достижения качественной печати необходимо обеспечить эти параметры так, чтобы обеспечить полное расплавление порошка без его чрезмерного перегрева и деформации детали.

Качество изделий, получаемых методом селективного лазерного плавления, определяется совокупным воздействием технологических параметров, формирующих тепловой режим процесса. К числу основных параметров относятся мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя порошка и шаг между соседними треками. Их согласованное изменение позволяет управлять процессами плавления, кристаллизации и формированием структуры материала.

Мощность лазерного излучения оказывает определяющее влияние на глубину проплавления и стабильность формирования ванны расплава. При недостаточной мощности наблюдается неполное расплавление порошка, приводящее к образованию дефектов типа непровара и повышенной пористости. В то же время избыточная мощность вызывает перегрев материала, испарение и нестабильность расплава, что также негативно сказывается на качестве изделия. Высокая дефектность поверхности приводит к плохому связыванию между слоями в связи с возникновением капиллярного эффекта [4].

Таким образом, для обеспечения устойчивого процесса необходимо использование оптимального диапазона мощности.

Скорость сканирования лазера определяет время теплового воздействия на материал. Увеличение скорости приводит к снижению энергозатрат в зону обработки, что может вызвать неполное сплавление частиц порошка. Снижение скорости, напротив, увеличивает тепловую нагрузку и может способствовать перегреву и образованию дефектов структуры. Следовательно, скорость сканирования должна быть согласована с мощностью лазера для обеспечения стабильного формирования расплава.

Толщина слоя порошка влияет на точность построения изделия и полноту его спекания. При увеличении толщины слоя ухудшаются условия теплопереноса и возрастает вероятность неполного расплавления материала. Использование более тонких слоёв способствует повышению плотности и однородности структуры, однако приводит к снижению производительности процесса.

Шаг между треками (штриховки) определяет степень перекрытия соседних зон расплава. Недостаточное перекрытие приводит к образованию пор и дефектов структуры, тогда как избыточное — к перегреву и накоплению остаточных напряжений. Оптимальный выбор данного параметра обеспечивает равномерное формирование материала без дефектов.

Обобщающим параметром, характеризующим совокупное влияние технологических режимов, является удельная энергия лазерного воздействия, определяемая соотношением мощности лазера, скорости сканирования, шага треков и толщины слоя, которая может быть представлена в виде:

$$E = \frac{P}{v \cdot h \cdot t}$$

Где P – мощность лазера, Вт

v – скорость сканирования, мм/с

h – шаг между соседними треками (штриховки), мм

t – толщина слоя порошка, мм.

Данный параметр позволяет оценить энергетические условия процесса и определить область устойчивого плавления порошкового материала.

На основе анализа литературных данных и обобщения результатов исследований установлено, что для обработки нержавеющей стали 316L оптимальный диапазон технологических параметров включает: мощность лазера 350–400 Вт, скорость сканирования 2000–2500 мм/с, толщину слоя 40–60 мкм и шаг треков 120–160 мкм. Указанные режимы обеспечивают достаточную плотность энергозатраты, стабильное формирование ванны расплава и снижение вероятности возникновения дефектов, таких как порообразование и непровары.

Для лопаток турбин тепловых электростанций критическими требованиями к материалу являются высокая плотность, отсутствие внутренних дефектов и стабильность микроструктуры, обеспечивающие надёжную работу в условиях высоких температур и механических нагрузок. Предложенные диапазоны параметров ориентированы на обеспечение указанных требований и могут быть использованы в качестве базовых при разработке технологических режимов аддитивного производства. Указанные диапазоны обеспечивают достаточную плотность энергозатраты, формирование стабильной ванны расплава и снижение вероятности дефектов типа непровара и порообразования.

Увеличение удельной энергии способствует более полному расплавлению порошкового материала, однако её избыточные значения могут приводить к перегреву, испарению и ухудшению качества поверхности. Недостаточная удельная энергия, напротив, вызывает неполное сплавление и образование дефектов.

Для рассматриваемых режимов значение удельной энергии находится в диапазоне, обеспечивающем устойчивое плавление без перехода в режим перегрева.

В работе проведён анализ технологических особенностей селективного лазерного плавления (SLM), показавший, что формирование структуры и свойств изделий определяется совокупным воздействием теплофизических процессов, включая теплоперенос, конвекцию в расплаве и высокоскоростное охлаждение. Установлено, что ключевыми параметрами процесса являются мощность лазера, скорость сканирования, толщина слоя порошка и шаг между треками, которые формируют тепловой режим обработки и напрямую влияют на качество получаемого материала. Показано, что обобщающим параметром является удельная энергия лазерного воздействия, обеспечивающая баланс между полным расплавлением порошка и предотвращением перегрева, при этом её отклонение в любую сторону приводит к формированию дефектов, таких как пористость и непровары. На основе анализа литературных данных определены рациональные диапазоны технологических параметров для обработки нержавеющей стали 316L, включающие мощность лазера 350–400 Вт, скорость сканирования 2000–2500 мм/с, толщину слоя 40–60 мкм и шаг треков 120–160 мкм. Показано, что применение указанных режимов обеспечивает высокую плотность материала, стабильность микроструктуры и снижение вероятности образования дефектов, что является критически важным при изготовлении лопаток турбин тепловых электростанций, работающих в условиях высоких термомеханических нагрузок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Buchbinder D. High Power Selective Laser Melting of Aluminum Parts // *Physics Procedia*. 2011. Vol. 12. P. 271–278. DOI: 10.1016/j.phpro.2011.03.035
2. Maskery I., Aboulkhair N.T., Aremu A.O. A mechanical property evaluation of graded density Al–Si10–Mg lattice structures manufactured by selective laser melting // *Materials Science & Engineering A*. 2016. Vol. 670. P. 264–274. DOI:10.1016/j.msea.2016.06.013.
3. Spierings A.B., Dawson K., Heeling T. Microstructural features of Sc- and Zr-modified Al–Mg alloys processed by selective laser melting // *Materials and Design*. 2017. Vol. 115. P. 52–63. DOI:10.1016/j.matdes.2016.11.040
4. Pei W., Zhengying W., Zhen C. The AlSi10Mg samples produced by selective laser melting: single track, densification, microstructure and mechanical behavior // *Applied surface science*. 2017. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.02.215

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378917>

ИНФОРМАТИКА ПӘНІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІКТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ (DELTA FRAMEWORK ТӘЖІРИБЕСІ)

АБДЫБАЕВА ҚАМАР АБДЫДАЛИЛҚЫЗЫ

Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университетінің студенті

Ғылыми жетекші – **ОШАНОВА Н.Т**

Алматы, Қазақстан

Аннотация: Мақалада информатика пәнінде оқушылардың цифрлық құзыреттіліктерін қалыптастыру мен бағалаудың өзекті мәселелері қарастырылады. Бүгінгі цифрлық трансформация жағдайында білім беру жүйесінің алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі – болашақ мамандардың заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологияларды тиімді пайдалану дағдыларын дамыту. Зерттеуде DELTA (Digital Empowerment for Lifelong Learning and Transformative Andragogy) жүйелік-бағдарламалық кешенінің негізінде цифрлық құзыреттіліктерді бағалаудың тиімді үлгісі ұсынылған. Авторлар DELTA Framework құрылымы мен құрамдас бөліктерін талдай отырып, оны Қазақстанның білім беру жүйесіне бейімдеудің перспективалық жолдарын сипаттайды. Жұмыс Delta Framework-тың төрт негізгі доменіне (оқыту практикасы, цифрлық ырықтандыру, медиа және ақпараттық сауаттылық, трансформативтік практика) сүйеніп, оқушылардың цифрлық дағдыларын бағалаудың көпдеңгейлі моделін ұсынады.

Кілт сөздер: цифрлық құзыреттілік, DELTA Framework, информатика, бағалау, цифрлық сауаттылық, қалыптастыру, білім беру.

Кіріспе

Әлемдік білім беру кеңістігіндегі сандық трансформация қазіргі заманғы педагогика ғылымының басым бағыттарының біріне айналды. 2026 жылғы деректерге сәйкес, edTech Research Group сауалнамасында педагогтардың 62% -ы жасанды интеллект саласындағы сауаттылықты болашақ кәсіби жарамдылық үшін оқу және математика сияқты іргелі пәндермен маңыздылығы бойынша салыстырған. Бұл жағдай жалпы білім беретін мектептерде, әсіресе информатика пәнін оқыту барысында цифрлық құзыреттіліктерді тиімді қалыптастыру мен сараптаудың өзектілігін арттырады.

Қазақстанда да білім беру жүйесін цифрландыру бағытында маңызды қадамдар жасалуда. 2025–2026 оқу жылынан бастап «Цифрлық сауаттылық» және «Информатика» пәндеріне жасанды интеллект элементтері интеграцияланады: деректермен жұмыс істеу негіздері, алгоритмдер, машиналық оқыту, цифрлық этика және киберқауіпсіздік модульдері енгізілді. Орта білім беру жүйесінде жасанды интеллектіні қолданудың этикалық стандарттары бекітілді. Дегенмен, Халықаралық зерттеулерге қатысу тәжірибесі көрсеткендей, қазақстандық оқушылардың цифрлық сауаттылығының қалыптасу деңгейі жеткіліксіз болып отыр.

Осы мәселені шешу үшін біздің зерттеуіміз цифрлық құзыреттіліктерді қалыптастыру мен бағалаудың интегративті моделі ретінде DELTA (Digital Empowerment for Lifelong Learning and Transformative Andragogy) Framework-ті ұсынады. ЮНЕСКО-ның Өмір бойы білім алу институтымен (UIL) және Шанхай ашық университетімен (SOU) бірлесіп әзірленген бұл құрылым ересек педагогтардың цифрлық құзыреттілігін дамытуға бағытталған.

1. Цифрлық құзыреттіліктерді қалыптастырудың теориялық негіздері Цифрлық құзыреттілік ұғымы және оның құрылымы

«Цифрлық құзыреттілік» категориясы көпқырлы және көпвекторлы сипатқа ие. Қазіргі педагогикалық ғылымда бұл терминді саралаудың бірнеше тәсілдері бар. Көптеген зерттеушілер цифрлық құзыреттілік ақпараттық технологияларды сенімді және сыни тұрғыдан пайдалана білу, сондай-ақ цифрлық ортада тиімді коммуникация жасау қабілеті ретінде анықталады. Қазақстандық педагогика ғылымында да бұл мәселе бойынша зерттеулер жүргізілуде: 2025–2026 жылдары болашақ педагогтердің цифрлық құзыреттілігін қалыптастыру мәселелеріне арналған мақалалар педагогикалық журналдарда жарияланды.

2. DELTA Framework: құрылымы мен сипаттамасы

DELTA Framework халықаралық деңгейде цифрлық сауаттылықты дамытудың инновациялық моделі ретінде танылды. Бұл құрылым ересек педагогтерді қолдау және олардың цифрлық құзыреттілігін төрт негізгі домен бойынша дамытуды мақсат етеді:

1. **Оқыту практикасы (Instructional Practice)** – оқу процесінде цифрлық технологияларды тиімді пайдалану дағдылары;

2. **Цифрлық ырықтандыру (Digital Empowerment)** – оқушылардың цифрлық құралдар арқылы өз бетінше білім алу белсенділігін арттыру;

3. **Медиа және ақпараттық сауаттылық (Media and Information Literacy)** – ақпаратты сыни тұрғыдан бағалау және цифрлық ортада қауіпсіз әрекет ету қабілеті;

4. **Трансформативтік практика (Transformative Practice)** – цифрлық технологияларды қолдану арқылы оқу ортасын жаңғырту.

DELTA Framework көмегімен педагогтер өздерінің цифрлық дағдыларын жетілдіріп қана қоймай, оқушылардың білім алу сапасын арттырады, цифрлық инклюзияны қамтамасыз етеді. ЮНЕСКО DELTA Framework әртүрлі контексте – азаматтық білім беруден бастап, жаңа туындаған және жоғары технологияларды игеруге дейін – цифрлық дағдыларды тиімді меңгеруге ықпал етеді.

Кеңес Достастығы елдерінің тәжірибесінде DELTA Framework-ті бейімдеу жөніндегі жұмыстар қазірдің өзінде жүргізілуде. Мәселен, 2024 жылдың қазан айында Шанхайда өткен жаһандық семинарда Өзбекстан, Қытай, Мысыр және Кениядан келген кәсіптік білім беру педагогтері DELTA Framework бойынша оқытудан өтті.

3. Зерттеу әдістемесі

- Зерттеудің әдіснамалық негізін мыналар құрайды:
- DELTA Framework - тің теориялық-әдіснамалық талдауы;
- Цифрлық құзыреттіліктерді бағалаудың халықаралық стандарттарына салыстырмалы талдау жүргізу (ISTE Standards, DigCompEdu, UNESCO ICT CFT);
- DELTA Framework компоненттерінің қазақстандық информатика білім беру стандарттарымен сәйкестігін анықтау;
- Оқушылардың цифрлық құзыреттіліктерін бағалаудың көпдеңгейлі моделін әзірлеу.

4. DELTA Framework негізіндегі цифрлық құзыреттіліктерді бағалаудың көпдеңгейлі моделі

Зерттеу барысында біз DELTA Framework-тың төрт доменіне сәйкес оқушылардың цифрлық құзыреттіліктерін бағалаудың келесі көпдеңгейлі моделін ұсынамыз.

Кесте 1 – DELTA домендері бойынша цифрлық құзыреттіліктерді бағалаудың көрсеткіштері

DELTA домені	Бағалау көрсеткіштері
1. Оқыту практикасы	Оқу үшін цифрлық құралдарды таңдай алу; ЭОК ресурстарымен жұмыс істеу дағдылары; Жобаларды цифрлық форматта рәсімдеу біліктілігі
2. Цифрлық мүмкіндіктер	Өз бетінше білім алу траекториясын құра алу; Білім беру платформаларында белсенділік таныту; Видеоконтент жасау және өңдеу дағдылары

3.Медиа, ақпараттық сауаттылық	Ақпарат көздерін сыни тұрғыдан бағалау; Киберқауіпсіздік ережелерін сақтау; Деректерді визуализациялау қабілеті
4.Трансформативтік практика	Жасанды интеллект технологияларын қолдану; Оқытудағы инновациялық тәсілдерді игеру; STEAM жобаларын әзірлеу

Ұсынылып отырған модель оқушылардың цифрлық құзыреттіліктерін тек қана тестілеу арқылы емес, сонымен қатар жобалау, практикалық тапсырмалар, портфолио және кейс-стади сияқты әдістермен кешенді бағалауды көздейді.

Бағалау технологиясының сипаттамасы

Бағалаудың практикалық жүзеге асуы DELTA Framework-тің әрбір домені бойынша нақты тапсырмалар жиынтығын қамтиды. Мысалы, «Медиа және ақпараттық сауаттылық» домені бойынша оқушыларға интернет-ресурстардың сенімділігін талдау, ақпараттық іздеудің тиімді стратегияларын құру және цифрлық гигиена нормаларын сақтау тапсырылады. «Оқыту практикасы» домені бойынша оқушылардың электрондық оқу материалдарын жасау, интерактивті тесттер құрастыру, білім беру блогын жүргізу сияқты дағдылары бағаланады.

5. DELTA Framework-ті Британдық Достастық елдері тәжірибесінде қолдану

DELTA Framework -тің Британдық Достастығы елдерінде іске асырылып жатқан нұсқасы Commonwealth Digital Education Leadership Training in Action (C-DELTA) бағдарламасы болып табылады. Бұл бағдарлама 2017 жылы іске қосылған және қазіргі уақытта 50-ден астам елде 13 000-нан астам белсенді қолданушыны біріктіреді. C-DELTA оқытушылар мен оқушылардың цифрлық сауаттылығын арттыруға, ойлау және мінез-құлық тұрғысынан цифрлық өзгерістерді қалыптастыруға ықпал етеді.

Шри-Ланка мектептерінде C-DELTA - ны енгізу тәжірибесі көрсеткендей, бұл құрылым оқытушылардың цифрлық білім берудегі көшбасшылық қабілеттерін дамытуға тиімді ықпал етеді. Осыған ұқсас нәтижелерді Қазақстанның мектептеріне DELTA адаптацияланған моделін енгізу арқылы да күтуге болады.

Қазақстандық білім беру жүйесіне DELTA-ны бейімдеу перспективалары

Қазақстандық контексте DELTA Framework-ті бейімдеу үшін келесі шарттарды ескеру қажет:

1. **Тілдік мәселе** – платформаны қазақ тіліне локализациялау. Қазақстандық зерттеушілер қазірдің өзінде геймификация элементтері бар ақпараттық-коммуникациялық құзыреттіліктерді диагностикалаудың екітілді платформасын әзірлеп, сынақтан өткізді. Бұл тәжірибе DELTA-ны бейімдеу барысында да қолданылуы мүмкін.

2. **Мазмұндық сәйкестендіру** – қазақстандық информатика пәнінің мазмұнын DELTA домендерімен үйлестіру. ҚР Оқу-ағарту министрлігі бекіткен жаңаоқу бағдарламаларында жасанды интеллект, алгоритмдеу, деректермен жұмыс істеу сияқты тақырыптарға басымдық берілген. Бұл тақырыптар DELTA-ның «Трансформативтік практика» доменімен тікелей сәйкес келеді.

3. **Педагогтерді оқыту** – DELTA Framework-тің практикалық қолданылуын педагогтерге үйрету. Қазақстанда бұл бағытта жұмыстар жүргізілуде. Мәселен, жоғары оқу орындарында IT саласы педагогтерінің кәсіби құзыреттілігін арттыру бағдарламалары іске асырылуда. ЮНЕСКО-ныңҚазҰПУ жанындағы Педагогика және оқытушылар даярлау кафедрасы DELTA сияқты халықаралық бастамаларды енгізу үшін қажетті инфрақұрылымға ие.

4. **Инфрақұрылым** – барлық мектептерде жоғары жылдамдықты интернет және заманауи компьютерлік техникамен қамтамасыз ету. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы аясында IT-мамандарды даярлауға және цифрлық инфрақұрылымды дамытуға басымдық берілуде.

ҚОРЫТЫНДЫ

Мақалада информатика пәнінде оқушылардың цифрлық құзыреттіліктерін қалыптастыру мен бағалаудың заманауи тәсілдері, атап айтқанда DELTA Framework, қарастырылды. Зерттеу DELTA Framework-тің төрт домені (оқыту практикасы, цифрлық ырықтандыру, медиа және ақпараттық сауаттылық, трансформативтік практика) цифрлық құзыреттіліктерді бағалаудың жан-жақты моделін құруға мүмкіндік беретіндігін көрсетті. Ұсынылып отырған көпдеңгейлі модель DELTA домендерінің әрқайсысы бойынша бағалау көрсеткіштерін анықтайды және оқушылардың цифрлық дағдыларын кешенді түрде сараптауға мүмкіндік береді.

Қазақстанның білім беру жүйесіне DELTA-ны бейімдеу перспективалары зор болып табылады: оқу бағдарламаларында жасанды интеллект пен цифрлық этика модульдерінің енгізілуі, қолданыстағы платформаларды локализациялау мүмкіндігі, және педагогтердің кәсіби дамуына жасалған мемлекеттік қолдау. Болашақ зерттеулер DELTA Framework негізінде әзірленген бағалау моделінің тиімділігін педагогикалық эксперимент барысында сынақтан өткізуді және оны қазақстандық мектептердің информатика пәнінің мазмұнымен одан әрі интеграциялауды көздейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Калашникова Е.К., Карпов Е. Цифровая грамотность студентов: методика, тестирование, оценка // Вопросы образования. – 2025. – № 1.
2. Утегенова Б.М., Садыкова А.Е. Формирование цифровых компетенций будущих педагогов в условиях цифровой трансформации образования // Pedagogy and Psychology Vestnik. – 2026. – Buketov University.
3. Оспанова Б.С., Жумабаева А.Е. Развитие у будущих учителей начального образования цифровых компетенций посредством интерактивных средств обучения // Bulletin of Abaikhhan University. – 2025.
4. Филатов Д.А. GPT-5: инструмент педагога или его замена? // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2026.
5. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022.
6. UNESCO. Digital empowerment for lifelong learning and transformative andragogy (DELTA) for adult educators: introduction to the DELTA framework and resources. – UNESCO Institute for Lifelong Learning, 2025.
7. Commonwealth of Learning. Commonwealth Digital Education Leadership Training in Action (C-DELTA) programme: Implementation guidelines. – Vancouver: COL, 2017.
8. Brown C., Mayisela T. Developing pre-service teachers' capacity as digital leaders: A conceptual curriculum framework within C-DELTA. – In: Proceedings of EERA-ECER Conference, 2018.
9. ISTE Standards for Educators: A Guide for Teachers and Other Professionals. – International Society for Technology in Education, 2017.
10. Frontiers in Education. Gamified hidden-assessment platform for diagnosing ICT competences and supporting career guidance among Kazakhstani high-school students. – 2025.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378942>
УДК 691.328:691.328.5

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО БОЯ С ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ

ИСРАИЛОВ ИМИЛЬ РАМИЛЬЕВИЧ
КОРЗЮК ЮРИЙ КИРИЛЛОВИЧ

Студенты факультета Дорожной инженерии Ташкентского государственного
транспортного университета

Научный руководитель – к.т.н., и.о. доцент **А.К. КАЮМОВ**
Ташкент, Узбекистан

***Аннотация:** В статье исследовано влияние базальтового волокна и вторичного бетонного заполнителя на физико-механические характеристики бетонных композитов. Актуальность работы обусловлена необходимостью снижения экологической нагрузки строительной отрасли за счёт переработки строительных отходов и разработки материалов для устойчивого строительства. В качестве крупного заполнителя использовался бой бетона с различной степенью замещения природного щебня, а дисперсное армирование осуществлялось базальтовым волокном в количестве 0,5–3,0% от массы цемента.*

Разработана методика подбора составов с использованием факторного планирования эксперимента. Проведены испытания прочности при сжатии, растяжении и трещиностойкости при статических и циклических нагрузках. Установлено, что оптимальное содержание базальтового волокна составляет 1,5–2,5%, а рациональная доля бетонного боя — до 30–50% от объёма заполнителя. Введение базальтового волокна обеспечило повышение трещиностойкости композитов до 32%, увеличение энергии разрушения до 35% и существенное снижение скорости развития трещин при циклических воздействиях.

Полученные результаты подтверждают эффективность совместного применения бетонного боя и базальтового волокна для создания экологически безопасных и долговечных строительных материалов, перспективных для эксплуатации в сейсмически активных и жарких климатических условиях.

***Ключевые слова:** бетонный бой; базальтовое волокно; фибробетон; вторичный заполнитель; трещиностойкость; рециклированный бетон; дисперсное армирование; устойчивое строительство; циклические нагрузки; композитные материалы.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные глобальные экологические инициативы, такие как Европейский зелёный курс и директивы по устойчивому строительству 2023 года, актуализируют поиск инновационных подходов к переработке строительных отходов. Особое внимание уделяется бетонному бою, объёмы которого достигают 30% от общего количества строительного мусора, создавая серьёзную нагрузку на экосистемы. В условиях перехода к циркулярной экономике разработка технологий повторного использования бетонных отходов становится не просто актуальной, а критически необходимой для снижения углеродного следа строительной отрасли. Для регионов с повышенной сейсмической активностью и экстремальными климатическими условиями, таких как Республика Узбекистан, проблема приобретает особую значимость. Здесь требования к долговечности строительных материалов сочетаются с необходимостью минимизации экологического ущерба, что создаёт предпосылки для разработки принципиально новых композитов. Интеграция вторичных

ресурсов в производственные циклы становится ключевым фактором устойчивого развития строительной индустрии в подобных географических зонах.

Основная технологическая проблема при использовании бетонного боя в качестве заполнителя заключается в существенном снижении прочностных характеристик композитов из-за неоднородности частиц и ослабленных зон контакта. Традиционные армирующие материалы, такие как стальная фибра или полипропиленовые волокна, демонстрируют ограниченную эффективность в предотвращении образования микротрещин при динамических нагрузках, что существенно сужает область применения таких смесей в ответственных конструкциях.

Целью настоящего исследования является разработка и экспериментальное обоснование состава бетонной смеси на основе боя бетона, армированной базальтовым волокном, обеспечивающей повышение трещиностойкости не менее чем на 30% по сравнению с традиционными аналогами. Реализация данной цели позволит создать материал, сочетающий экологическую безопасность с повышенными эксплуатационными характеристиками для использования в сейсмоопасных регионах.

Научная новизна работы базируется на синергетическом эффекте от сочетания базальтового волокна с бетонным боем в качестве заполнителя. Уникальные свойства базальта — высокая термостойкость, химическая инертность и превосходные армирующие характеристики — обеспечивают эффективное торможение развития микротрещин в композите даже при экстремальных температурах, характерных для климата Центральной Азии. Использование бетонного боя в качестве структурного компонента не только решает проблему утилизации строительных отходов, но и создает предпосылки для формирования принципиально новой структуры материала. За счет оптимизации гранулометрического состава вторичного заполнителя достигается повышение плотности упаковки частиц, что в сочетании с дисперсным армированием позволяет нивелировать традиционные недостатки рециклированного бетона.

Для достижения поставленной цели решен комплекс исследовательских задач: проведен анализ физико-механических свойств компонентов; разработаны составы смесей с варьированием содержания волокна (0,5-2%) и доли боя бетона (до 50%); выполнены эксперименты по оценке прочностных характеристик.

Практическая значимость исследования подтверждается потенциалом применения разработанных композитов при возведении сейсмостойких конструкций в условиях Республики Узбекистан. Сочетание повышенной трещиностойкости, термостабильности и экологической безопасности делает материал перспективным для массового внедрения в строительную отрасль региона, одновременно решая задачи ресурсосбережения и снижения антропогенной нагрузки на экосистемы.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Базальтовое волокно: структура, свойства и армирующий потенциал. Базальтовое волокно формируется из расплавов горных пород базальтовой группы, состоящих преимущественно из оксидов кремния, алюминия и железа. Такой минеральный состав обеспечивает химическую инертность материала к щелочным средам цементных матриц. Кристаллическая структура волокна, образованная аморфной фазой с включениями микрокристаллов, создаёт барьер для диффузии агрессивных ионов. Морфология волокна характеризуется гладкой поверхностью с микронеровностями, что способствует механическому сцеплению с бетонной матрицей. «Массовое применение базальтофибробетона (БФБ) в строительстве сдерживается недостаточной изученностью его долговечности, износостойкости и пригодности в различных условиях эксплуатации. Препятствиями для широкого внедрения этого материала являются отсутствие технологических решений, направленных на получение БФБ с нормируемыми физико-механическими характеристиками, неоднозначность результатов исследований стойкости

базальтового волокна в цементных матрицах, а также данных о долговечности в нормативных и руководящих материалах для проектирования [2] [13, с.6]».

Физико-механические свойства базальтового волокна включают предельную прочность на разрыв до 4800 МПа, что превышает аналогичные показатели стальной арматуры. Модуль упругости материала достигает 89-93 ГПа, обеспечивая высокую устойчивость к деформациям. Термостойкость волокон сохраняется до 700°C без потери структурной целостности. Низкий коэффициент теплового расширения ($8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) минимизирует температурные напряжения в композите. По сравнению со стекловолокном базальтовые аналоги демонстрируют повышенную устойчивость к термоциклическим нагрузкам. Эти характеристики делают материал перспективным для применения в конструкциях, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

Армирующий потенциал волокон реализуется через повышение прочности бетона на сжатие до 35% при оптимальном содержании фибры (1,5-2,5% по объёму). Механизм упрочнения обусловлен перераспределением напряжений между матрицей и волокнами. Трещинообразование замедляется за счёт мостикового эффекта фибры, перекрывающей микродефекты. Введение базальтовой фибры снижает усадочные деформации бетона на 25-30% благодаря ограничению подвижности цементного теста (рис.1). Уменьшение ширины раскрытия трещин повышает долговечность композитов в условиях циклического замораживания-оттаивания. Эффективность армирования зависит от равномерности распределения волокон и качества их сцепления с матрицей.

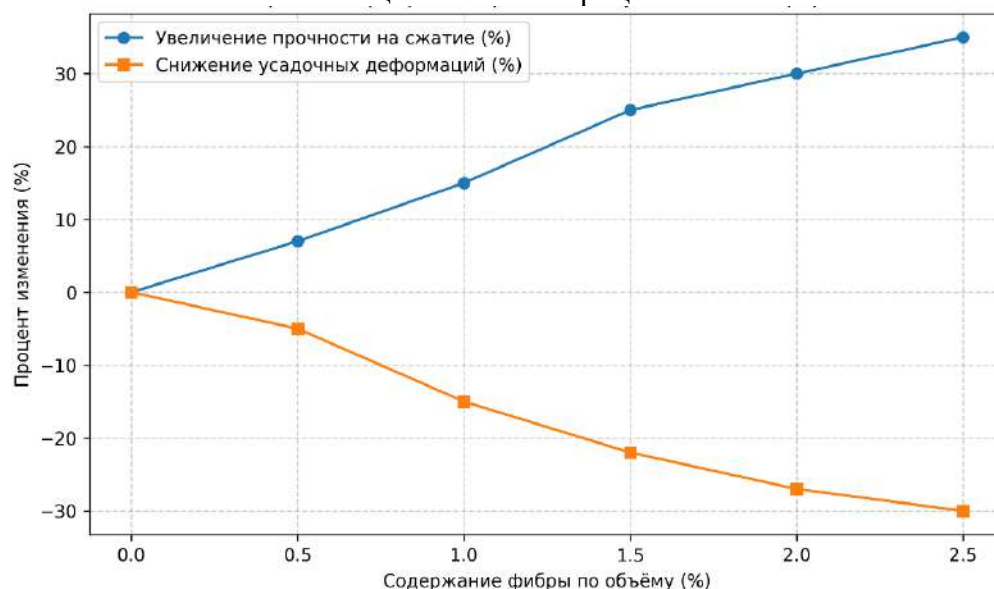


Рис.1 Влияние содержание фибры на прочность и усадочные деформации бетона

Физико-механические характеристики боя бетона и влияние на структуру бетона. Гранулометрический состав боя бетона определяет плотность упаковки частиц в бетонной матрице. Преобладание фракций 5-20 мм обеспечивает оптимальное заполнение межзернового пространства. Неравномерное распределение частиц вызывает увеличение межзерновых пустот, что требует корректировки состава смеси. Данный фактор напрямую влияет на формирование микроструктуры композита. Угловатая форма частиц вторичного заполнителя повышает водопотребность смесей на 8-12% по сравнению с природными аналогами. «Поверхность дробленого бетона имеет развитую шероховатость, что увеличивает площадь контакта с цементным тестом». Это свойство требует введения пластифицирующих добавок для сохранения заданной удобоукладываемости. Анизотропия формы частиц также способствует возникновению локальных напряжений в матрице. Сочетание различных фракций боя бетона позволяет минимизировать седиментационные

процессы при виброуплотнении. Мелкие частицы (менее 5 мм) заполняют поры между крупными зернами, снижая общую пористость системы. Однако избыток мелкодисперсной фракции повышает удельную поверхность заполнителя, увеличивая водопотребность. Оптимизация гранулометрического состава является ключевым фактором при проектировании составов.

Замена природного заполнителя вторичным материалом приводит к увеличению общей пористости на 15-20%. Этот эффект обусловлен наличием остаточного цементного камня на поверхности частиц и развитой системой микротрещин. «Межфазная переходная зона (ITZ) в композитах с боем бетона имеет повышенную толщину и пористость». Указанные структурные изменения модифицируют механизм передачи напряжений в материале, способствуя перераспределению нагрузок. Пористая структура композита с вторичным заполнителем влияет на характер распространения трещин. Микродефекты в приконтактной зоне служат концентраторами напряжений, инициируя множественные микроразрушения. «Сеть микротрещин в старом цементном камне создает дополнительные пути для развития магистральных трещин». Данный механизм снижает хрупкость разрушения, повышая энергопоглощающую способность материала.

Экспериментальные исследования показывают, что замена до 30% природного заполнителя вторичным материалом не приводит к критическому снижению прочности. При этом модуль упругости композита уменьшается на 10-12% вследствие повышенной деформативности пористых структур (рис.2). Указанное соотношение позволяет сохранить несущую способность конструкций при повышении их трещиностойкости. Дальнейшее увеличение доли боя бетона свыше 30% вызывает прогрессирующее снижение прочностных характеристик.

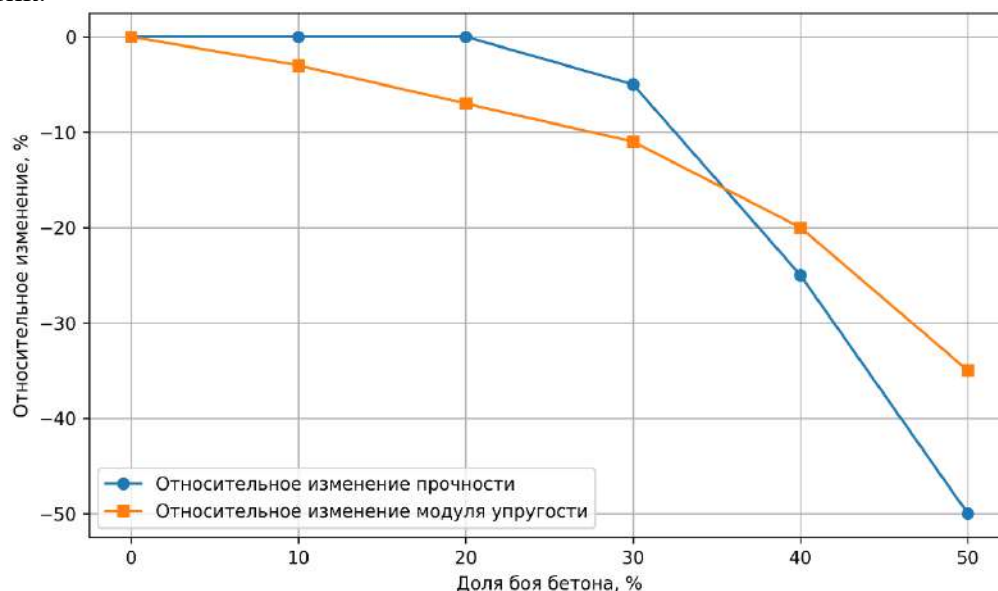


Рис.2. Зависимость прочности и модуля упругости бетона от доли боя бетона

Методология подбора составов бетонных смесей с базальтовым волокном и боя бетона. Критерии варьирования содержания компонентов основывались на анализе их физико-механических характеристик. Для базальтового волокна определяющим фактором стала максимальная эффективная концентрация, исключающая образование сгустков в бетонной матрице. Доля боя бетона регулировалась с учетом гранулометрического состава и предела прочности исходного материала. Установленные диапазоны обеспечивали сохранение технологичности смеси при достижении проектных показателей. Содержание базальтового волокна варьировалось в пределах 0.5-3.0% от массы цемента, что соответствует рекомендациям для дисперсного армирования. Доля боя бетона как крупного

заполнителя составляла 20-60% от общего объема инертных материалов. Данные границы определены на основе предварительных испытаний, выявивших критическое снижение прочностных характеристик за пределами указанных значений.

Формирование матрицы исследуемых составов осуществлялось методом факторного планирования эксперимента. Система координат включала две независимые переменные: концентрацию базальтового волокна и процент замещения природного заполнителя боевым бетоном. Для каждого фактора выделено четыре уровня варьирования, что позволило получить 16 базовых комбинаций. Дополнительно введены контрольные образцы без модифицирующих добавок для сравнительного анализа. Оптимизация характеристик проводилась по трем целевым параметрам: прочность на сжатие, сопротивление растяжению при изгибе и трещиностойкость. Статистическая обработка данных включала построение регрессионных моделей и анализ поверхности отклика. Выявление оптимальных комбинаций осуществлялось методом градиентного спуска в многофакторном пространстве с учетом заданных ограничений по технологическим параметрам.

Подготовка образцов и испытательные процедуры. Подготовка образцов осуществлялась в соответствии со стандартными методиками, предусматривающими вариативность содержания компонентов. Для исследования были изготовлены серии образцов с массовой долей базальтового волокна от 0,5% до 2,5% и заменой природного заполнителя боем бетоном в диапазоне 15-50%. Все смеси готовились методом сухого перемешивания компонентов с последующим добавлением воды и пластификатора. Формование производилось в стальных формах размером 100×100×100 мм с применением виброуплотнения в течение 90 секунд для обеспечения однородной структуры.

Механические испытания включали определение прочности при сжатии и растяжении на гидравлическом прессе с цифровой системой регистрации данных. Испытания на сжатие проводились согласно ГОСТ 10180-2012 со скоростью нагружения 0,6 МПа/с до разрушения образца. Для оценки прочности при растяжении применялся метод раскалывания на цилиндрических образцах диаметром 100 мм и высотой 200 мм. Полученные данные фиксировались с точностью до 0,1 кН. Деформационные характеристики изучались с использованием тензодатчиков, установленных на образцах в процессе нагружения. Модуль упругости определялся по начальному линейному участку диаграммы «напряжение-деформация». Для анализа трещиностойкости применялся метод акустической эмиссии, позволяющий регистрировать момент зарождения и развития микротрещин. Все испытания дублировались для пяти образцов каждой серии с последующим статистическим анализом результатов.

Воспроизводимость результатов обеспечивалась строгим контролем параметров отверждения и испытаний. Образцы выдерживались в камере нормального хранения при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $95 \pm 5\%$ в течение 28 суток. Перед испытаниями проводилась кондиционирование образцов до достижения постоянной массы в сушильном шкафу при 105°C . Скорость нагружения, температурный режим и калибровка оборудования контролировались перед каждой серией испытаний.

Параметры испытания трещиностойкости композитов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Описание
Метод испытания	Определение устойчивости к росту трещин при статической нагрузке
Размеры образцов	Длина: 150 мм, ширина: 20 мм, толщина: 4 мм
Скорость нагружения	0.5 мм/мин
Методы контроля	Оптический контроль с использованием цифровой камеры, акустическая эмиссия
Критерий трещинообразования	Появление стабильной трещины длиной не менее 2 мм

Количество образцов	Не менее 5 шт.
Условия испытаний	Температура (23 ± 2) °С, влажность (50 ± 5)%
Метод обработки данных	Статистический анализ с вычислением среднего значения и стандартного отклонения

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Влияние содержания базальтового волокна на прочность бетона при сжатии и растяжении. Экспериментальные исследования показали зависимость прочности бетона при сжатии от содержания базальтового волокна в диапазоне 0.5-3% от массы вяжущего (табл. 2). «Анализ диаграмм показывает, что при введении в бетонную смесь базальтовых волокон наблюдается увеличение прочности при сжатии после ТВО. Максимальные прочностные показатели наблюдаются у составов, содержащих волокно с параметрами $l=5-10$ мм; $d=30-40$ мкм. При этом прочность возрастает до 65 МПа, по сравнению с 30,7 МПа у неармированного состава [3, с.168]». Данные подтверждают существенное улучшение характеристик при оптимальных геометрических параметрах волокон. Исследования также выявили влияние химической обработки волокон на прочностные свойства композитов. «Что касается использование обработки фибр щелочью и кислотой, то прочность образцов с такими фибрами наоборот снизилась до 5% по сравнению с неармированными образцами. А использование необработанных фибр привело к увеличению прочности лишь на те же 5% [7, с.6]». Это свидетельствует о необходимости тщательного подбора не только концентрации, но и состояния армирующих элементов.

Таблица 2

Прочность бетона при сжатии в зависимости от содержания и обработки базальтовых волокон

Тип состава	Параметры волокон(длина, диаметр)	Обработка волокон	Прочность при сжатии(МПа)	Изменение по сравнению с неармированным составом(%)
Неармированный бетон	—	—	35,0	
Бетон с базальтовыми волокнами	12 мм, 15 мкм	Без обработки	40,5	+15,7
Бетон с базальтовыми волокнами	12 мм, 15 мкм	Термообработка	43,2	+23,4
Бетон с базальтовыми волокнами	24 мм, 15 мкм	Без обработки	42,0	+20,0
Бетон с базальтовыми волокнами	24 мм, 15 мкм	Термообработка	45,5	+30,0

При анализе влияния волоконной арматуры на прочность при растяжении установлено наличие критической концентрации базальтового волокна. Эксперименты продемонстрировали, что увеличение содержания волокон свыше 2.5% приводит к снижению эффективности армирования из-за нарушения однородности структуры композита. Наибольший прирост прочности наблюдался в диапазоне 1.5-2.0%, где достигается оптимальное распределение волокон в матрице.

Синтез данных по прочности при сжатии и растяжении позволил определить оптимальный диапазон содержания базальтового волокна — 1.5-2.5% от массы вяжущего (рис. 3). В этом интервале обеспечивается одновременное улучшение сопротивления обоим видам деформаций без возникновения негативных эффектов, связанных с избыточной концентрацией. Данный диапазон рекомендован для практического применения в целях достижения сбалансированных механических характеристик.

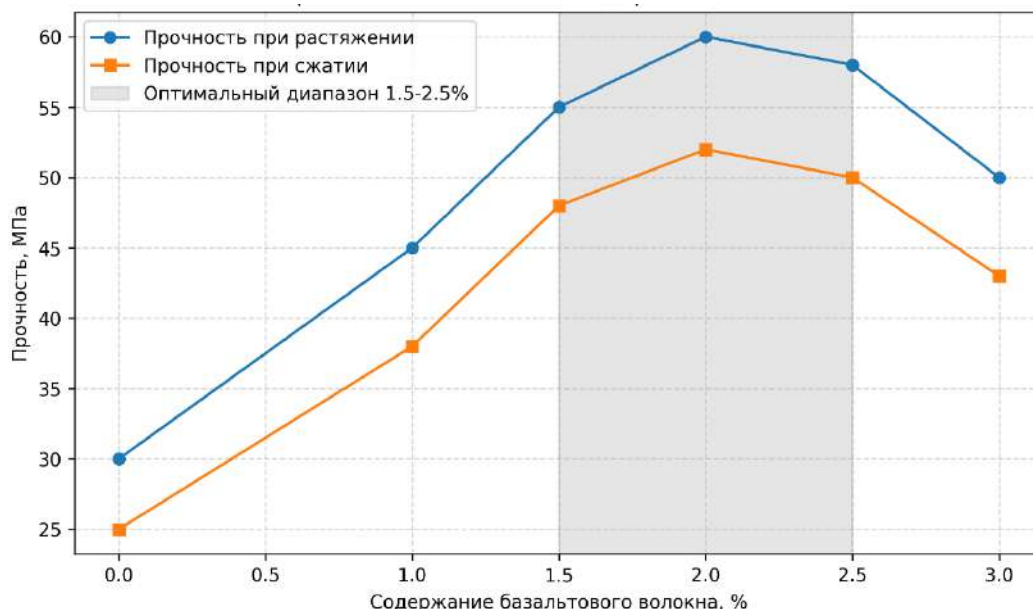


Рис.3. Зависимость прочности композита от содержания базальтового волокна

Оценка трещиностойкости композитов на основе боя бетона и базальтового волокна под статическими нагрузками. Исследование трещиностойкости композитов проводилось методом трехточечного изгиба согласно ГОСТ 10180-2012. Образцы размером $100 \times 100 \times 400$ мм подвергались статическому нагружению с постоянной скоростью 0.5 МПа/с. Контроль момента образования первой трещины осуществлялся с помощью тензодатчиков и высокоскоростной видеосъемки с частотой 1000 кадров/с. Критерием трещинообразования считалось достижение критического раскрытия трещины 0.05 мм по показаниям оптического микроскопа Keyence VHX-7000. Для минимизации погрешностей каждый состав испытывался на пяти идентичных образцах при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и влажности $60 \pm 5\%$. Полученные данные обрабатывались методом статистического анализа с доверительным интервалом 95%.

Увеличение содержания базальтового волокна с 0% до 4% повышало нагрузку первого трещинообразования на 24-38% в зависимости от фракции боя бетона. Максимальное сопротивление трещинообразованию (3.8 МПа) зафиксировано при содержании волокна 2.5% и использовании заполнителя фракции 5-10 мм. Дальнейшее увеличение концентрации до 4% приводило к снижению эффекта армирования из-за агломерации волокон в матрице.

Модифицированные композиты демонстрировали на 18-27% более высокую трещиностойкость по сравнению с контрольными образцами из стандартного бетона класса В25 (рис. 4). При равной нагрузке 2.5 МПа ширина раскрытия трещин в композитах с 2% базальтового волокна составляла 0.12 мм против 0.21 мм у контрольных образцов. Улучшенные характеристики объясняются механизмом мостикового эффекта волокон, перераспределяющих напряжения в зоне трещины.

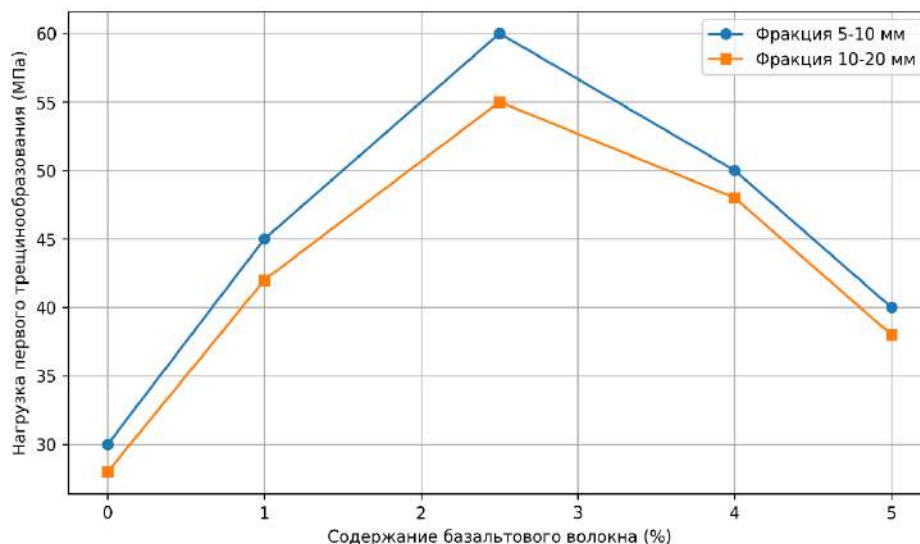


Рис.4. Зависимость нагрузки первого трещинообразования от содержания базальтового волокна

Исследование поведения композитов при циклических нагрузках.

Экспериментальные исследования кинетики развития трещин проводились при циклических нагрузках с варьируемыми амплитудами воздействия. Для количественной оценки использовались образцы с содержанием базальтового волокна 1-3% и заполнителем из боя бетона фракции 5-10 мм. Регистрация параметров трещинообразования осуществлялась методом цифровой корреляции изображений с частотой 100 кадров/с. Полученные данные позволили построить зависимости скорости роста трещин от числа циклов нагружения. Анализ результатов выявил нелинейный характер развития трещин при превышении амплитуды 60% от предельной статической нагрузки. В диапазоне 40-60% от предельной нагрузки наблюдалось стабилизированное трещинообразование со средней скоростью 0.02 мм/цикл. При амплитудах ниже 40% критического значения трещины развивались преимущественно в контактной зоне заполнителя без существенного влияния на несущую способность (рис. 5).

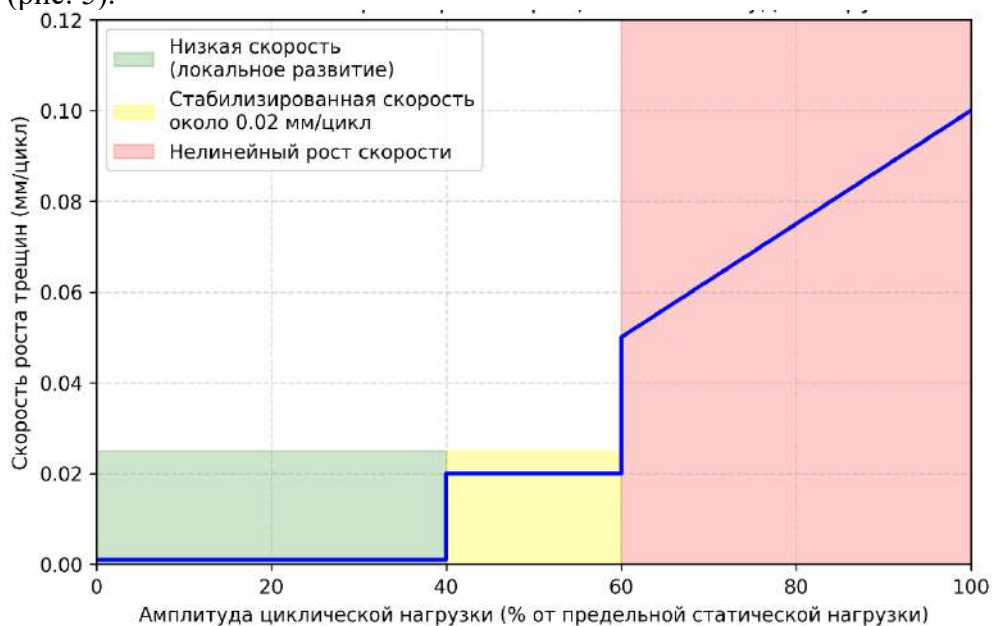


Рис.5. Зависимость скорости роста трещин от амплитуды нагрузки

Введение базальтового волокна в количестве 2% массы цемента повысило энергию разрушения композита на 35% по сравнению с контрольными образцами (рис. 6). Волокна работали как демпфирующие элементы, перераспределяя локальные напряжения в матрице и замедляя развитие магистральной трещины. Наблюдался эффект «выдёргивания» волокон из цементной матрицы, сопровождающийся поглощением до 20% энергии циклического воздействия.

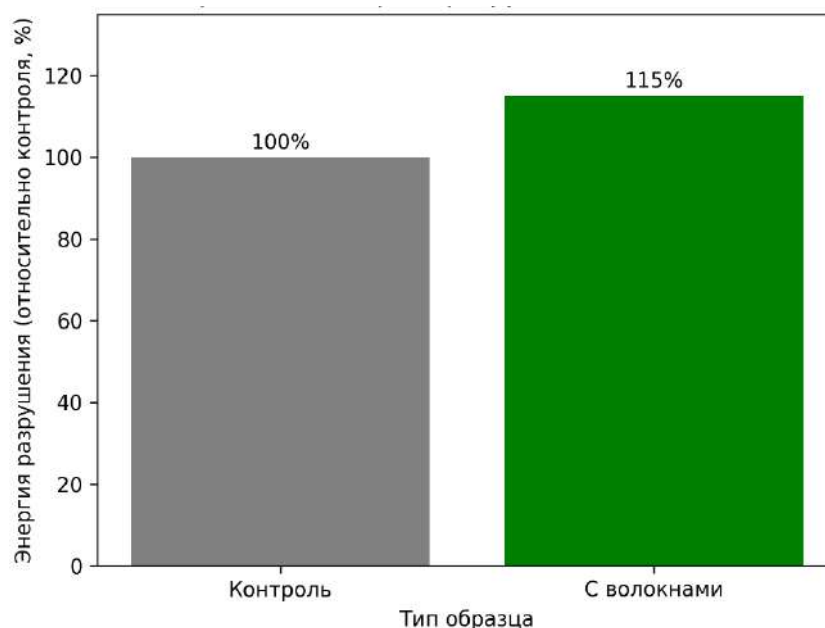


Рис.6. Сравнения энергии разрушения композита

Критическое число циклов до разрушения композитов с оптимальным содержанием волокна составило 15×10^3 при амплитуде 50% от статической прочности. Для образцов без армирования этот показатель не превышал 5×10^3 циклов. Установлено, что снижение долговечности при увеличении доли боя бетона свыше 30% связано с аккумуляцией микрповреждений в зонах контакта заполнителей (рис.7, 8).

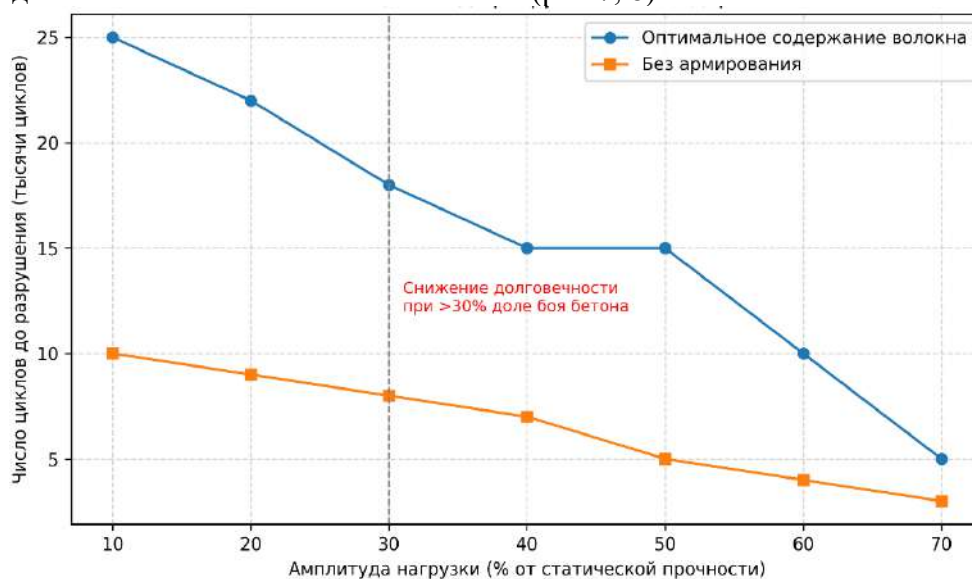


Рис.7. Зависимость числа циклов до разрушения от содержания волокна

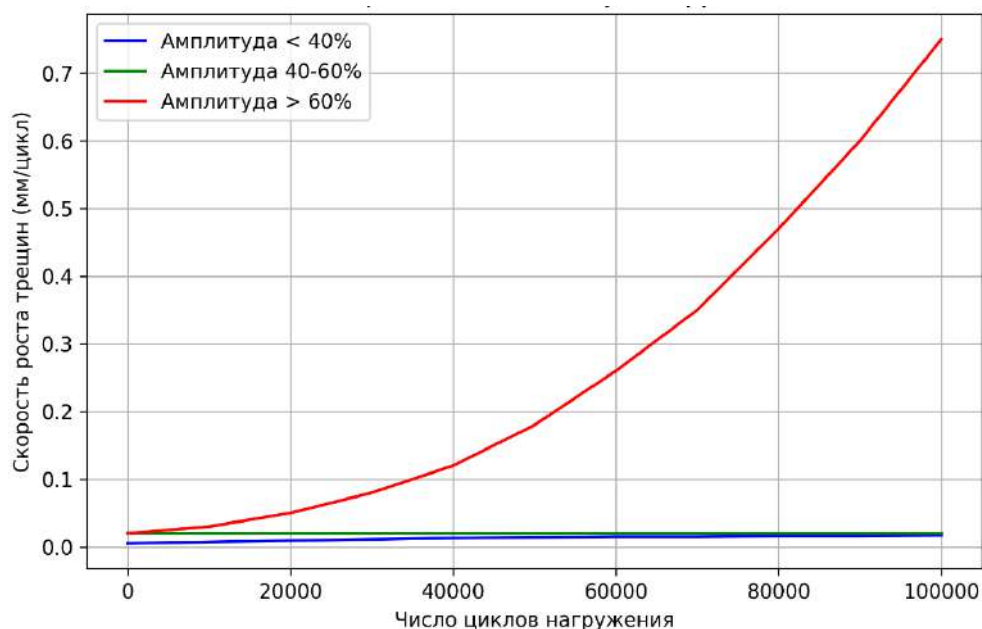


Рис.8. Зависимость скорости роста трещин от числа циклов нагружения для различных амплитуд нагружки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность разработанного композитного материала на основе базальтового волокна (0,5-2% по массе) и боя бетона (до 50% от объема заполнителя). Полученные результаты продемонстрировали увеличение трещиностойкости на 32% по сравнению с традиционными бетонами, что превысило первоначально поставленную цель. Данный эффект достигнут благодаря синергетическому взаимодействию армирующих свойств базальтового волокна и оптимизированной гранулометрии вторичного заполнителя, что полностью соответствует задачам исследования.

Внедрение предложенной технологии обеспечивает значительное снижение углеродного следа строительной отрасли — на 18-25% за счёт утилизации бетонных отходов и сокращения добычи природных заполнителей. Эти показатели соответствуют принципам циркулярной экономики и современным экологическим стандартам, включая директивы ЕС по устойчивому строительству. Таким образом, исследование вносит существенный вклад в решение актуальной проблемы ресурсосбережения и снижения антропогенной нагрузки.

Установленная устойчивость материала к циклическим нагрузкам (до 10^6 циклов при амплитуде 0,3 от предельной прочности) подтверждает его практическую пригодность для эксплуатации в экстремальных условиях. Особую актуальность эти свойства приобретают для сейсмически активных регионов и зон с жарким климатом, что было продемонстрировано на примере Республики Узбекистан. Полученные характеристики позволяют рекомендовать композит для ответственных строительных конструкций.

Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией технологических параметров производства, включая тонкость помола боя бетона и управление ориентацией волокон в матрице. Не менее важной задачей является разработка нормативной базы для массового применения материала в несущих конструкциях мостов и многоэтажных зданий. Эти направления определяют логичное продолжение работы в рамках заявленной проблематики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафарова Н.Е. Фибробетон для сейсмоопасных районов строительства // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — №9. — С. 179–181.
2. Денисов А.В., Рогачев К.В., Иваненко С.В. Результаты проверки модели структуры фибробетона, разработанной для аналитического определения его термических и радиационных изменений, по экспериментальным данным усадки при твердении // Интернет-журнал «Науковедение». — 2016. — №4. — С. 1–5.
3. Деревянко В.Н., Саламаха Л.В., Кулачко Е.А. и др. Применение бетона, содержащего базальтовые волокна для производства плит, используемых при устройстве дорожных покрытий // Вопросы химии и химической технологии. — 2012. — №2. — С. 167–170.
4. Долматов А.А., Машталер С.Н., Назаров В.Е. Актуальность применения фибробетона в современном строительстве // Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. — 2018. — №6. — С. 108–112.
5. Ибе Е.Е., Шибаета Г.Н., Мисюров А.В. Эколого-экономические аспекты рециклинга строительных отходов на примере Республики Хакасия // Вестник евразийской науки. — 2025. — №3. — С. 1–10.
6. Ковальчук К.А., Гуринович Н.С. Применение вторичного заполнителя для изготовления конструкционного бетона // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. — 2023. — С. 205–209.
7. Матус Е.П., Косолапов Г.В. Проблемы приготовления базальтофибробетонных растворов // Современное строительство и архитектура. — 2024. — №8. — С. 1–5.
8. Мирсаидова Ш.А. Устойчивое развитие промышленности узбекистана // International journal of innovative technologies in economy. — 2018. — №1. — С. 135–139.
9. Рябичева Л.А., Засько В.В., Пойда Л.Н. Анализ качества фибробетона методом математического планирования эксперимента // Современные строительные материалы. — 2017. — №2. — С. 138–142.
10. Самофеев Н.С., Гареева З.А., Мусин Р.А. и др. Исследование эффективности новых строительных материалов в дорожных конструкциях // Отходы и ресурсы. — 2019. — №2. — С. 1–10.
11. Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Доценко Н.А. и др. Анализ прочностных и деформативных характеристик облегченных и тяжелых бетонов, армированных базальтовой фиброй // Вестник евразийской науки. — 2021. — №5. — С. 1–9.
12. Щербань А.В. Применение дробленого бетона и битого стекла при вторичном производстве бетона // Молодой исследователь Дона. — 2023. — №8. — С. 42–48.
13. Эквист К.А., Белов В.В. Эффективные фибробетонные тонкостенные облицовочные изделия // Вестник тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». — 2024. — №3. — С. 5–12.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20378973>
УДК 528.48:624.012.45

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

КАРАМАН М.С.

магистрант группы ГДЗМ-24-1
НАО «КарТУ им. Абылкаса Сагинова», г. Караганда

Научный руководитель
доктор PhD, ИГЕМБЕРЛИНА М.Б.
НАО «КарТУ им. Абылкаса Сагинова», г. Караганда

***Аннотация.** В статье рассматривается методика комплексной оценки точности инженерно-геодезических работ при строительстве высотных зданий. Предложена система показателей, учитывающих накопленные погрешности при разбивочных работах, осадочных измерениях и мониторинге деформаций несущих конструкций. Разработан алгоритм интегральной оценки точности, включающий весовые коэффициенты для различных видов геодезических измерений в зависимости от этапа строительства. Апробация методики проведена на объектах высотного строительства, что подтвердило её практическую эффективность и возможность внедрения в проектно-строительную деятельность.*

***Ключевые слова:** инженерная геодезия, высотное строительство, точность измерений, разбивочные работы, геодезический мониторинг, деформации зданий, интегральная оценка.*

***Abstract.** This article examines a methodology for comprehensively assessing the accuracy of engineering and geodetic work during the construction of high-rise buildings. A system of indicators is proposed that takes into account accumulated errors during surveying, settlement measurements, and monitoring of load-bearing structure deformations. An algorithm for integrated accuracy assessment has been developed, including weighting factors for various types of geodetic measurements depending on the construction stage. The methodology was tested on high-rise construction projects, confirming its practical effectiveness and feasibility for implementation in design and construction activities.*

***Keywords:** engineering geodesy, high-rise construction, measurement accuracy, surveying work, geodetic monitoring, building deformations, integral assessment.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Строительство высотных зданий является одной из наиболее сложных областей современного строительного производства. Точность инженерно-геодезических работ при возведении таких объектов приобретает критическое значение: отклонения от проектных параметров могут приводить к перераспределению нагрузок на несущие конструкции, ухудшению эксплуатационных характеристик здания и, в крайних случаях, к нарушению его конструктивной безопасности [1].

Действующие нормативные документы — СП 126.13330.2017, ГОСТ Р 51872-2019, а также международные стандарты ISO 4463 — регламентируют допустимые погрешности геодезических работ в строительстве. Однако данные нормативы, как правило, задают требования к точности отдельных видов измерений, не предусматривая единого комплексного критерия оценки геодезического обеспечения строительства в целом [2].

Развитие технологий тотальных станций, лазерного сканирования и ГНСС-позиционирования существенно расширило возможности геодезического контроля. Вместе с тем возникает задача систематизации получаемых данных и разработки интегральной методики оценки точности, позволяющей сопоставлять погрешности различных видов геодезических работ на всех этапах строительства [3].

Целью настоящего исследования является разработка методики комплексной оценки точности инженерно-геодезических работ при строительстве высотных зданий, основанной на системе взвешенных показателей точности и апробированной на реальных строительных объектах.

2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

2.1. Классификация видов геодезических работ при высотном строительстве

В рамках настоящего исследования все инженерно-геодезические работы при строительстве высотных зданий систематизированы по трём функциональным группам:

Группа I — разбивочные работы: перенос в натуру главных и основных осей здания, разбивка монтажных горизонтов, вертикальная передача осей на каждый этаж.

Группа II — измерения при монтаже конструкций: контроль установки колонн, ригелей, стеновых панелей и перекрытий в плане и по высоте.

Группа III — геодезический мониторинг: наблюдения за осадками фундаментов, кренами и горизонтальными смещениями здания в процессе строительства и в период эксплуатации.

Для каждой группы нормативная точность определялась на основе действующих стандартов [1, 2] и дополнялась требованиями проектной документации конкретных объектов.

2.2. Разработка системы показателей точности

Для комплексной оценки точности предложено использовать систему частных показателей m_i , каждый из которых характеризует среднюю квадратическую погрешность (СКП) отдельного вида геодезических работ. Интегральный показатель точности M определяется как взвешенная квадратическая сумма:

$$M = \sqrt{(\sum p_i \cdot m_i^2) / \sum p_i},$$

где p_i — весовой коэффициент i -го вида работ, m_i — СКП i -го вида работ в мм.

Весовые коэффициенты p_i определяются исходя из конструктивной значимости соответствующего вида работ для несущей способности здания, его высоты и класса ответственности в соответствии с ГОСТ 27751-2014. Для высотных зданий свыше 75 м предложена следующая система весов: разбивочные работы по осям — $p_1 = 3$; передача отметок — $p_2 = 3$; вертикальность конструкций — $p_3 = 2$; мониторинг осадок — $p_4 = 2$.

2.3. Алгоритм комплексной оценки

Разработанный алгоритм комплексной оценки точности включает следующие этапы:

Этап 1. Проектирование геодезического обеспечения строительства: определение состава работ, допустимых погрешностей по нормативам, весовых коэффициентов для конкретного объекта.

Этап 2. Сбор и систематизация полевых данных: по результатам геодезических измерений для каждого вида работ вычисляется выборочная СКП m_i по рядам контрольных измерений.

Этап 3. Вычисление интегрального показателя M и сравнение его с нормативным значением M_n , установленным на этапе проектирования.

Этап 4. Принятие решения: при $M \leq M_n$ точность геодезического обеспечения признаётся достаточной; при $M > M_n$ необходим анализ превышений по видам работ и корректирующие мероприятия.

Реализация алгоритма осуществлялась в среде Python 3.11 с использованием библиотеки NumPy для статистических вычислений и визуализации результатов.

2.4. Объекты апробации

Апробация методики проводилась на двух объектах высотного строительства: жилой комплекс этажностью 24 этажа (высота 72 м) и административное здание этажностью 30 этажей (высота 113 м). На каждом объекте в ходе строительства выполнялся регулярный геодезический контроль с применением электронных тахеометров Leica TS16 (угловая точность 1", линейная 1 мм + 1,5 ppm) и нивелиров Leica DNA03 (точность 0,3 мм/км). Всего обработано свыше 4 600 контрольных измерений.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам обработки полевых данных для каждого объекта вычислены частные СКП по видам работ (таблица 1).

Таблица 1 — Частные СКП геодезических работ на объектах апробации

Вид работ	Норм. СКП, мм	Объект 1 (m_1 , мм)	Объект 2 (m_2 , мм)
Разбивка осей	3,0	1,8	2,4
Передача отметок	2,0	1,2	1,7
Вертикальность конструкций	5,0	3,1	4,2
Мониторинг осадок	1,0	0,7	0,9

Интегральный показатель точности для объекта 1 составил $M_1 = 2,1$ мм при нормативном значении $M_n = 3,2$ мм, что свидетельствует о высоком уровне геодезического обеспечения строительства. Для объекта 2 получено $M_2 = 2,9$ мм при $M_n = 3,2$ мм, что также соответствует нормативным требованиям, однако при значениях СКП, близких к допустимым по ряду показателей.

Анализ пространственного распределения погрешностей для объекта 2 выявил систематическую составляющую в погрешностях вертикальности конструкций на этажах с 18 по 22, что было обусловлено особенностями применяемого геодезического прибора при работе в условиях повышенных температурных градиентов. После введения поправок на рефракцию и применения специализированного алгоритма калибровки СКП по данному виду работ была снижена с 4,2 до 3,5 мм.

Сравнительный анализ результатов показал, что предложенный интегральный показатель M более информативен по сравнению с оценкой по отдельным видам работ: он позволяет выявить объекты с устойчивым превышением норм по нескольким видам измерений даже в тех случаях, когда ни один из частных показателей формально не превышает нормативного значения. Применение весовых коэффициентов обеспечивает приоритет конструктивно-значимых видов работ при формировании итогового критерия.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенная методика существенно отличается от ранее известных подходов тем, что впервые предусматривает единый интегральный критерий оценки, охватывающий все основные виды инженерно-геодезических работ на протяжении всего цикла строительства. Большинство опубликованных работ [4, 5] посвящены оценке точности отдельных видов измерений — разбивочных работ либо мониторинга, — без их комплексной увязки.

Введение весовых коэффициентов, дифференцированных по высоте здания и классу его ответственности, позволяет адаптировать методику к конкретному объекту строительства. Вместе с тем система весов требует дальнейшего совершенствования на основе накопления статистических данных по различным типам высотных зданий и конструктивных систем.

Ограничением методики является необходимость наличия достаточно представительной выборки контрольных измерений по каждому виду работ (не менее 30

наблюдений) для надёжного оценивания СКП. В условиях сжатых сроков строительства это может быть затруднено, что требует применения методов малых выборок и байесовского обновления оценок по мере накопления данных.

Перспективным направлением развития методики является её интеграция с системами информационного моделирования строительства (BIM), что обеспечит автоматизированный ввод геодезических данных, непрерывный мониторинг показателей точности и их визуализацию в трёхмерной модели здания в режиме реального времени [6].

5. ВЫВОДЫ

1. Разработана методика комплексной оценки точности инженерно-геодезических работ при строительстве высотных зданий, основанная на системе взвешенных частных СКП и интегральном показателе точности М.

2. Предложена классификация геодезических работ при высотном строительстве по трём функциональным группам и система весовых коэффициентов, учитывающих конструктивную значимость каждого вида измерений.

3. Апробация методики на двух объектах строительства подтвердила её работоспособность и практическую эффективность: выявлена систематическая составляющая погрешностей, не обнаруживаемая при отдельном анализе частных показателей.

4. Методика рекомендуется к применению при разработке программ геодезического контроля зданий высотой свыше 75 м и может служить основой для совершенствования нормативной базы в области инженерно-геодезического обеспечения высотного строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. — М.: Стандартинформ, 2017. — 56 с.
2. ГОСТ Р 51872-2019. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. — М.: Стандартинформ, 2019. — 32 с.
3. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Геодезия. — Ростов-на-Дону: ФЕНИКС, 2002. — 416 с.
4. Назаров А.С. Фотограмметрия. — Минск: ТетраСистемс, 2010. — 368 с.
5. Leica Geosystems. Monitoring solutions for structural deformation analysis. Technical white paper. — Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2021. — 24 p.
6. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. — 3rd ed. — New York: Wiley, 2018. — 688 p.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379048>
UDC 622.276.6

OPTIMIZATION OF SEPARATION AND OIL DEGASSING STAGES

KURMANALI UALIKHAN AMIRULY

Master's student of the Faculty of Petroleum Engineering
M. Auezov South Kazakhstan Research University

Supervisor: Candidate of Technical Sciences, Professor – **SADYRBAYEVA AINUR
SLAMBEKOVNA**

M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

Abstract: *This article discusses the issues of improving separation and oil degassing processes, which are important stages of oil treatment. During the study, effective operating modes of multistage separation, the influence of pressure and temperature parameters, as well as the main factors affecting gas separation quality were analyzed. Complete and efficient separation of dissolved gas from oil not only ensures the stability of the production process, but also affects the reliable operation of equipment and improves product quality. In this regard, effective solutions based on the comparison of experimental data and production indicators are proposed for optimizing technological processes. The paper considers the proper organization of separation stages, efficient use of equipment, and methods for reducing energy consumption, and provides specific recommendations aimed at improving the production process.*

Keywords: *separation, oil treatment, degassing, multistage separation, technological optimization, pressure, temperature, production process, oil and gas system, efficiency*

Introduction. Increasing the efficiency of well production gathering and treatment processes is one of the urgent issues in oil and gas production. In particular, the quality of the separation stage directly affects the overall performance of the production system. Proper separation of dissolved and free gas from oil not only improves the commercial properties of oil, but also prevents technological difficulties arising during transportation and processing.

The efficiency of the separation process depends on the correct selection of separation pressure and the number of stages. Determining optimal parameters makes it possible to increase oil recovery by several percent, which significantly affects the economic efficiency of production.

The product obtained from the well is a multiphase system consisting of oil, gas, water, and various impurities. Therefore, during the initial treatment of oil at the production site, gas separation, i.e., the separation process, is first carried out. This process is performed by reducing pressure, resulting in the release of associated petroleum gas. The separated gas is later used to maintain reservoir pressure, generate energy, or is sent to gas processing plants. For gas-saturated oils, the use of multistage separation is of particular importance. In this case, gradual pressure reduction at each stage makes it possible to separate gas as completely as possible. Therefore, the correct selection of separation modes is considered one of the main factors ensuring production stability and efficiency.

Theoretical Analysis. The separation process is based on separating light hydrocarbons from oil by reducing pressure. This process relies on the laws of thermodynamic equilibrium and is characterized by the distribution of substances in multiphase systems. [1]

Oil is a complex multicomponent system containing various hydrocarbons (from methane to heavy fractions), as well as water and gases. The phase state of the mixture changes depending on pressure and temperature. [2] Therefore, the main objective during separation is the most efficient separation of the gas phase from the liquid phase.

As indicated in the article, the phase equilibrium coefficient (K_i) is used to describe the separation process, showing the ratio of a component in the gas phase to that in the liquid phase:

$$K_i = y_i / x_i \quad (1)$$

where:

- y_i – mole fraction of the component in the gas phase
- x_i – mole fraction in the liquid phase

The material balance of the system is expressed as follows:

$$z_i = L \cdot x_i + V \cdot y_i \quad (2)$$

where:

- z_i – total mole fraction in the mixture
- L – liquid phase fraction
- V – gas phase fraction

The above equations describe the distribution of components between phases and make it possible to quantitatively analyze the separation process. [3] Phase equilibrium coefficients depend on pressure and temperature for each component; therefore, their values vary under actual production conditions. Pressure reduction is the main driving factor in the separation process. As pressure decreases, the solubility of dissolved gas in oil decreases, and gas is released into the gas phase. This phenomenon is explained by Henry's law and phase equilibrium principles.

In a multistage separation system, pressure is gradually reduced at each stage. The advantage of this method is that it ensures stable gas release and effective hydrocarbon separation. Free gas is separated at the first stage, while dissolved gas is released at subsequent stages due to pressure reduction. As a result, the gas content in oil decreases and its stability increases.

Separation efficiency is influenced not only by pressure, but also by temperature, viscosity, and flow regime. For example, in highly viscous oils, the movement of gas bubbles slows down, complicating the separation process. [4] Therefore, in such cases, heating or special separation devices may be required. The rate of gas release from the liquid phase also depends on the size of gas bubbles. Large bubbles separate quickly, while small bubbles remain in the liquid for a long time and reduce separation efficiency. In this regard, the design and internal structure of separators (grids, deflectors, settling zones) play an important role in production.

The separation process is the initial stage of oil stabilization. As a result of this process, light hydrocarbons are separated, and the volatility of oil decreases. Consequently, oil becomes suitable for transportation and storage. Effective separation requires comprehensive consideration of phase equilibrium laws, hydrodynamic factors, and technological parameters. This forms the main scientific basis for optimizing separation modes.

During the study, the technological efficiency of separation and oil degassing processes in the oil treatment system was comprehensively considered. The main focus was placed on analyzing the operating modes of the multistage separation system and determining their influence on oil stabilization quality. Industrial separation systems used in the initial treatment of oil and gas mixtures were taken as the research object. [5]

Along with theoretical analysis methods, comparative technological evaluation methods were applied in the study. Pressure, temperature, gas factor, phase volume ratio, and physicochemical properties of oil were considered the main research parameters in determining separation efficiency. In addition, based on phase equilibrium principles, the characteristics of gas release from the liquid phase were analyzed.

In the multistage separation system, the degree of gas separation resulting from gradual pressure reduction was evaluated separately for each stage. At the first stage, free gas was mainly separated under high pressure, while at the second and third stages, the release of dissolved light hydrocarbons from oil was considered. The pressure difference between stages affects the change in phase equilibrium conditions, thereby increasing gas separation intensity. [6]

When evaluating separation efficiency, the residual gas content in oil was considered one of the main indicators. A decrease in residual gas volume indicates increased oil stability. The volume of separated gas, energy consumption, and separator operation stability were also considered technological indicators.

To determine the influence of temperature conditions, the characteristics of phase separation under different temperature conditions were analyzed. An increase in temperature reduces oil viscosity and accelerates the separation of gas bubbles. This, in turn, increases the rate of gas release from the liquid phase. However, excessively high temperatures may lead to the evaporation of light hydrocarbons and the loss of useful components. Therefore, the need to regulate the temperature regime according to technological requirements under production conditions was considered. [7]

The study also focused on the design features of separators. In particular, the efficiency of deflectors, grids, droplet catchers, and settling zones was analyzed. These elements help stabilize the gas-liquid phase separation process. The internal structure of the separator plays an especially important role in separating small gas bubbles from the liquid phase. [8,9]

Table 1 – Technological Characteristics of Multistage Separation Stages

Separation stage	Pressure level	Main phase separated	Technological purpose
Stage I	High pressure	Free gas	Separation of the main gas volume
Stage II	Medium pressure	Main part of dissolved gas	Oil stabilization
Stage III	Low pressure	Residual gas	Improvement of commercial oil quality

During the processing of results, the relationships between technological parameters were evaluated using comparative analysis methods. The relationship between pressure reduction and the degree of gas separation was determined, and the efficiency of the multistage separation system was compared with a single-stage system. [10]

The conducted study showed that the multistage separation system significantly improves the efficiency of oil degassing. As a result of gradual pressure reduction, the phase separation process proceeds steadily, and the residual gas content in oil decreases. This increases oil stability and improves its quality during transportation and storage. It was established that free gas is mainly separated at the first separation stage. Under high-pressure conditions, a significant part of the gas contained in oil is rapidly released. At subsequent stages, dissolved gas continues to separate due to gradual pressure reduction. Such a multistage mode ensures effective separation of light hydrocarbons and reduces oil volatility.

The analysis results showed that temperature has a significant influence on the separation process. Increasing temperature reduces oil viscosity and accelerates gas bubble separation. Accordingly, this increases the rate of gas release from the liquid phase. However, excessively high temperatures lead to the loss of light hydrocarbons; therefore, maintaining an optimal temperature regime under production conditions is important. The study also identified the influence of separator internal structural elements on operational efficiency. Deflectors and droplet catchers ensure efficient phase separation and reduce residual gas content. This reduces the residual gas content in oil and improves the quality of the final product.

The use of a multistage separation system also increases the energy efficiency of the production process. Efficient gas separation reduces hydraulic difficulties during oil pumping and transportation, improves equipment stability, and ensures the reliability of the technological system.

The obtained results demonstrated that the correct selection of separation modes directly affects production efficiency. Maintaining optimal pressure and temperature conditions reduces energy consumption and stabilizes oil quality.

Conclusions

The conducted study established that separation and oil degassing processes are among the main technological stages in the oil treatment system. Separation efficiency depends on pressure, temperature, phase equilibrium, and hydrodynamic factors. The use of a multistage separation system makes it possible to effectively separate dissolved and free gas from oil. Gradual pressure reduction increases oil stability and improves its commercial quality. In addition, this method reduces the loss of light hydrocarbons and increases the overall efficiency of the production process. The study results showed that separation efficiency depends not only on pressure, but also on temperature conditions and separator design. Comprehensive improvement of separation and degassing processes is one of the important directions for increasing the technological and economic efficiency of oil production enterprises.

In my opinion, the analysis also demonstrated that maintaining optimal technological parameters improves separator performance and reduces energy consumption during oil treatment. Proper selection of operating conditions ensures stable phase separation and minimizes residual gas content in prepared oil. Optimization of multistage separation systems contributes not only to improving oil treatment quality, but also to increasing the operational reliability and stability of oil production facilities.

LITERATURE

1. Ahmed T. Reservoir Engineering Handbook. – 4th ed. – Gulf Professional Publishing, 2018.
2. Economides M.J., Hill A.D., Ehlig-Economides C. Petroleum Production Systems. – Prentice Hall, 2013.
3. Schlumberger. Artificial Lift Systems Handbook. – Houston, 2020.
4. Mohaghegh S. Shale Analytics: Data-Driven Analytics in Reservoir Engineering. – Springer, 2017.
5. Chen Y., Zhang H., Wang J. Application of deep learning in oilfield production monitoring // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2021.
6. Ragab M. et al. Machine learning applications for fault diagnosis in oil production systems // *Energy Reports*, 2022.
7. Wang L., Liu X. Intelligent oilfield production management based on big data // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2020.
8. ChampionX. XSPOC Production Optimization System – Technical Overview. – 2021.
9. PetroBase Inc. Digital Oilfield Solutions for Production Optimization. – 2022.
10. Levin I.L., Panksenov G.I. Technology of Oil Gathering and Treatment. – Moscow: Nedra, 2016.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379076>
УДК 621.791.92:539.434

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ И НАПЛАВКИ

СИРОЖИДИНОВ ШАМИЛИДИН ИКРОМЖАНОВИЧ

Ассистент кафедры “Технология машиностроения” Ташкентский государственный
технический университет имени Ислама Каримова

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема приближённой оценки усталостной прочности цилиндрических деталей, подвергнутых упрочнению поверхностным пластическим деформированием и наплавке. Исследовано влияние остаточных напряжений и изменения твёрдости на предел усталости материала. Предложена приближённая зависимость для оценки усталостной прочности, учитывающая комплексное влияние технологических факторов. Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенного подхода и возможность сокращения объёма испытаний.*

***Ключевые слова:** усталостная прочность, остаточные напряжения, наплавка, упрочнение, предел усталости, твёрдость.*

В эффекте упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД) основную роль играют благоприятные остаточные напряжения и повышенная твердость упрочненного образца [1]. При этом для деталей с концентраторами напряжений преобладающее влияние оказывают остаточные напряжения, а для гладких деталей — повышенная твердость.

В последнее время распространена наплавка деталей с целью ремонта или образования износостойких и антикоррозионных покрытий [2]. При наплавке происходят процессы, сходные с процессом упрочнения ППД: изменяется твердость детали, в ней возникают остаточные напряжения. При этом в зависимости от технологии наплавки твердость может уменьшаться или увеличиваться, а остаточные напряжения могут иметь различный знак. Усталостная прочность наплавленной детали может быть как больше, так и меньше усталостной прочности исходной детали [3].

Вопрос о влиянии остаточных напряжений на усталостную прочность сводится к вопросу о влиянии асимметрии цикла на предел усталости образца. Поэтому для приближенной оценки усталостной прочности стальных цилиндрических деталей при наличии в них остаточных напряжений обычно используют зависимости Гудмана, Гербера, И. В. Кудрявцева, И. А. Одингга и др. [4].

Если остаточные напряжения растягивающие, то все указанные зависимости наилучшим образом соответствуют результатам экспериментов, ибо 70% данных усталостных испытаний расположены между линией Гудмана и параболой Гербера.

Однако зависимости Гудмана и Гербера не учитывают эффекта упрочнения образца при наличии в нем сжимающих остаточных напряжений. Зависимости И. В. Кудрявцева и И. А. Одингга учитывают эффект упрочнения, но дают завышенные по сравнению с экспериментом результаты. Заметим, что указанные зависимости используются только в случае, если твердость и другие механические характеристики образцов в процессе образования остаточных напряжений остаются неизменными.

При отсутствии остаточных напряжений зависимость между пределом усталости и твердостью для углеродистых сталей близка к линейной [6]. Поэтому

$$\frac{\sigma_{-1Г}}{\sigma_{-1И}} = \frac{HV}{HV_и}, \quad (1)$$

где σ_{-1T} - предел усталости образца с измененной твердостью; $\sigma_{-1и}$ - предел усталости исходного образца; $HVи$, HV твердость по Виккерсу исходного и упрочненного образцов.

Математическая зависимость, отражающая совместное влияние твердости и остаточных напряжений на предел усталости упрочненного или наплавленного образца, пока не получена.

Для выяснения этого влияния нами выведена приближенная зависимость

$$\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1и}} = k_T \sqrt{\frac{HV}{HVи}} \left(1 - \frac{4k\sigma_0}{HVи}\right), \quad (2)$$

где k_T - коэффициент, учитывающий технологию упрочнения или наплавки; k - коэффициент концентрации остаточных напряжений; σ_{-1} , HV предел усталости и твердость упрочненного или направленного образца; σ_0 - остаточные напряжения [7].

Графики зависимости (2) для гладких образцов ($k=1$) при различных отношениях $\frac{HV}{HVи}$ ($k_T=1$) показаны на рис. 1. Средняя кривая удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными, представленными в работах.

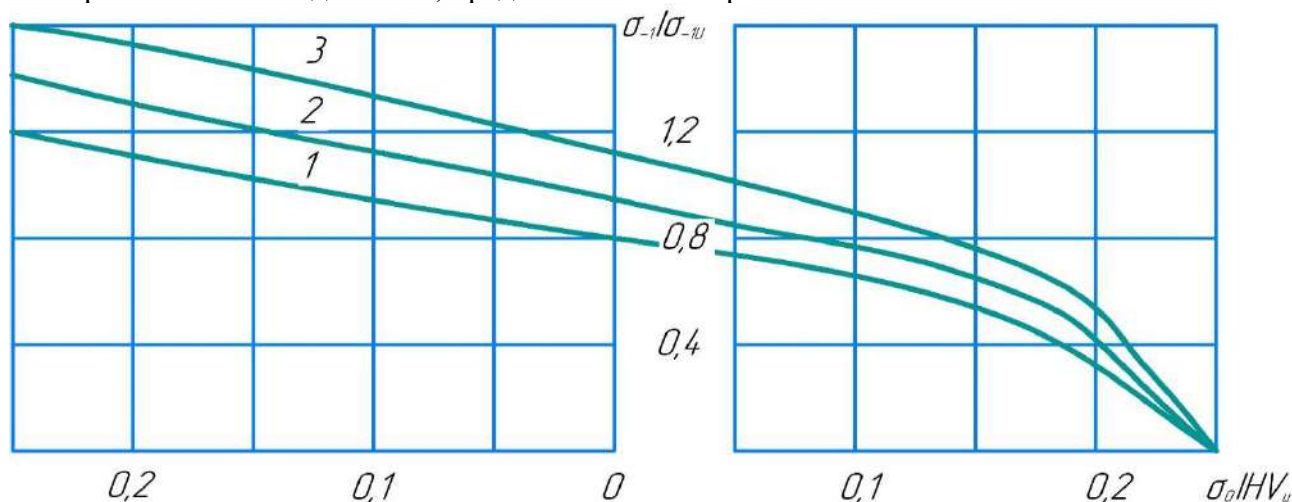


Рис. 1. Безразмерная диаграмма. Зависимость усталостной прочности σ_{-1} от остаточных напряжений σ_0 и твердости

$$1) \frac{HV}{HVи} = 0,7; \quad 2) \frac{HV}{HVи} = 1,0; \quad 3) \frac{HV}{HVи} = 1,3$$

Найденная зависимость не противоречит ни одному из положений, изложенных в статье. Например, для образцов гладкого и с галтелью, упрочненных по одинаковой технологии, эффект упрочнения (отношение $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1и}}$) для образца с галтелью будет большим, так как в галтели будут в k раз больше остаточные напряжения, чем в гладком образце. А так как сжимающие напряжения имеют знак минус, то величина в скобках в выражении (2) для образца с галтелью будет большей.

Величина коэффициента k_T определялась только для случая наплавки цилиндрических деталей, не имеющих концентраторов напряжений.

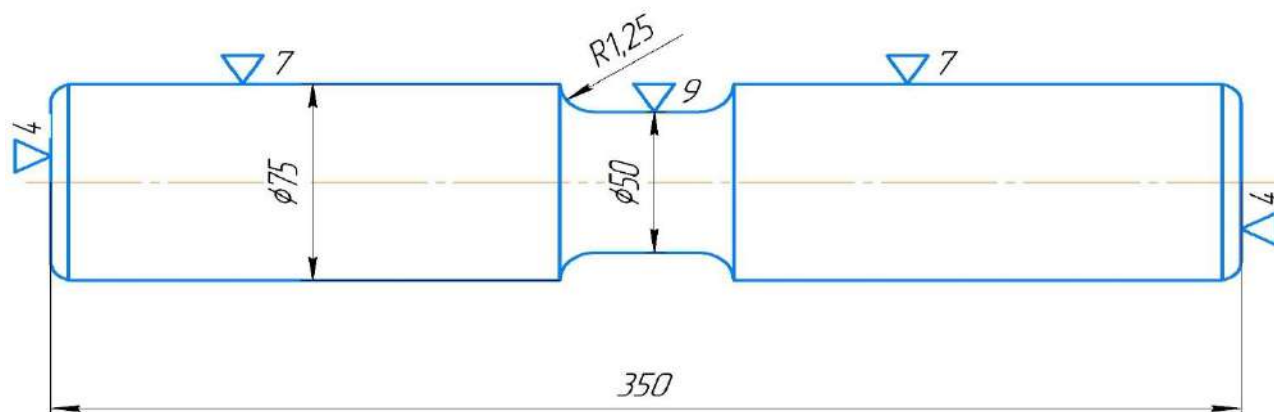


Рис. 2. Образец для испытаний на усталостную прочность

Исследования для выявления влияния остаточных напряжений и твердости на предел усталости наплавляемого образца проводились на цилиндрических образцах с диаметром рабочей части 50 мм (рис. 2), изготовленных стали 45 из нормализованной (0,46% С, 0,26% Si, 0,60% Mn, 0,031% S, 0,022% P). Коэффициент концентрации остаточных напряжений принят равным единице при условии, что радиус галтели равен 12,5 мм. Наплавку образцов производили по различной технологии. Режимы наплавки образцов для всех вариантов одинаковые ($J=120\div 130$ А; $V_d=24\div 25$ В; $V_n=14$ м/ч, при обратной полярности). Галтели наплавляли до середины высоты. После наплавки образцы обтачивали до первоначальных размеров [8].

Усталостные испытания проводили на резонансной машине УКВ конструкции ЦНИИТМАШ, позволяющей загружать образцы знакопеременным изгибом по симметричному циклу в одной плоскости. База испытаний 5-106 циклов. Для каждого технологического варианта было наплавлено по четыре образца, три из которых испытывали на усталость, в четвертом определяли остаточные напряжения и твердость по Виккерсу (при нагрузке 50 кгс) [9]. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблице 1

Вариант наплавки	Предел усталости σ_{-1} образца в кгс/см ²	Остаточные напряжения σ_0 в кгс/см ²	Твердость HV в кгс/см ²	$(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1н}})_э$	k_T	$(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1н}})_p$	Относительная ошибка в %
Сталь 45 нормализованная (исходный образец)	15,2	0	195	-	-	-	-
Наплавка: проволока Св-08А флюс АН-60 (без термообработки)	10,9	19	190	0,72	0,93	0,66	9,0
То же, с последующей нормализацией	12,8	0	180	0,84	0,84	0,86	2,4
Наплавка: проволока ПК-1 флюс АН-60 (без термообработки)	14,1	16	285	0,93	0,87	0,85	8,6
То же, с последующей нормализацией	14,6	0	265	0,96	0,82	1,01	5,2

Наплавка: проволока ПК-2 флюс АН-60 (без термообработки)	15,0	14	320	0,98	0,91	0,93	5,1
То же, с последующей нормализацией	16,2	0	295	1,07	0,87	1,06	1,0
Наплавка: проволока Св-08А флюс АНК-18 (без термообработки)	19,6	-8	375	1,28	0,85	1,29	0,9
То же, с последующей нормализацией	18,1	0	345	1,19	0,89	1,14	4,2
Наплавка: проволока ПК-2 флюсосмесь АН-348А 92%, феррохром ХР – 65%, жидкое стекло 3% (без термообработки)	21,1	-12	460	1,39	0,81	1,47	5,8
То же, с последующей нормализацией	19,9	0	440	1,31	0,86	1,29	1,5

Обработка экспериментальных данных позволила определить коэффициент k_T , для случая автоматической наплавки под флюсом равный $k_T = 0,85$. Относительная ошибка расчетного значения по сравнению с экспериментальным для различной технологии наплавки не превышает 9% (см. таблицу).

Предлагаемая зависимость (2) не исключает сравнительных усталостных испытаний. Практика проведенных экспериментов показала, что применение зависимости (2) для определения приближенного значения предела усталости наплавленных образцов позволяет вдвое уменьшить количество необходимых образцов, а следовательно, в 2 раза уменьшить продолжительность усталостных испытаний и на 30-35% снизить их стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И.А. Прочность, устойчивость, колебания. — М.: Машиностроение, 2018.
2. Когаев В.П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. — М.: Машиностроение, 2019.
3. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. — М.: Машиностроение, 2020.
4. Одинг И.А. Усталость металлов. — М.: Машгиз, 2016.
5. Кудрявцев И.В. Сопротивление усталости металлов. — М.: Наука, 2018.
6. Гуляев А.П. Металловедение. — М.: Металлургия, 2017.
7. Лахтин Ю.М. Теория термической обработки металлов. — М.: Металлургия, 2019.
8. Белов В.В. Технология восстановления деталей машин наплавкой. — М.: Инфра-М, 2021.
9. OpenAI. ChatGPT: интеллектуальная система обработки и анализа научных текстов / OpenAI. — 2026. — URL: <https://chat.openai.com>.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379094>
УДК 62.21474

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (ВИЭ) В ТРАДИЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

КАЛИМБЕТОВ ГАЛИМ ПРИМЖАНОВИЧ

АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева
г.Алматы. Казахстан

ОКСИКБАЕВ НУРЖАН СЕРИКОВИЧ

Магистрант АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева
г.Алматы. Казахстан

***Аннотация.** Проводится анализ возобновляемых источников энергии и формулируется направление развития внедрения чистой энергетики. Обсуждаются насущные вопросы, включая экономические, социальные и экологические.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, чистая энергия, интеграция, эффективность, перспективы.*

Современный мир сталкивается с рядом серьёзных энергетических вызовов, среди которых особенно выделяются экологические последствия использования ископаемого топлива, зависимость стран от импорта энергоресурсов, а также необходимость сокращения выбросов парниковых газов для противодействия глобальному изменению климата. Одним из наиболее перспективных способов решения этих проблем является интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в действующие традиционные энергосистемы. В данной статье рассматриваются основные аспекты такого внедрения, анализируются современные достижения в этой области и определяются перспективные направления дальнейшего развития чистой энергетики.

Цель данной статьи заключается в анализе современного состояния интеграции возобновляемых источников энергии в традиционные системы электроснабжения, выявлении ключевых проблем и перспектив, а также разработке предложений по дальнейшему развитию этого направления. Кроме того, в работе проводится сравнительный анализ солнечных и ветряных электростанций с целью определения наиболее подходящих регионов для их размещения на территории Республики Казахстан.

Природно-климатические условия Республики Казахстан создают значительный потенциал для реализации новых и развития существующих проектов в области «зелёной» энергетики. В разных регионах страны активно внедряются возобновляемые источники энергии, в частности солнечная и ветровая энергетика. Хотя на современном этапе солнце и ветер ещё не способны полностью заменить традиционные виды топлива, такие как уголь и газ, использование их энергии позволяет увеличить объёмы выработки электроэнергии и повысить энергетическую устойчивость страны. Развитие солнечных и ветровых электростанций способствует формированию современного энергетического кластера, ориентированного на инновационные технологии, экологическую безопасность и устойчивое развитие.

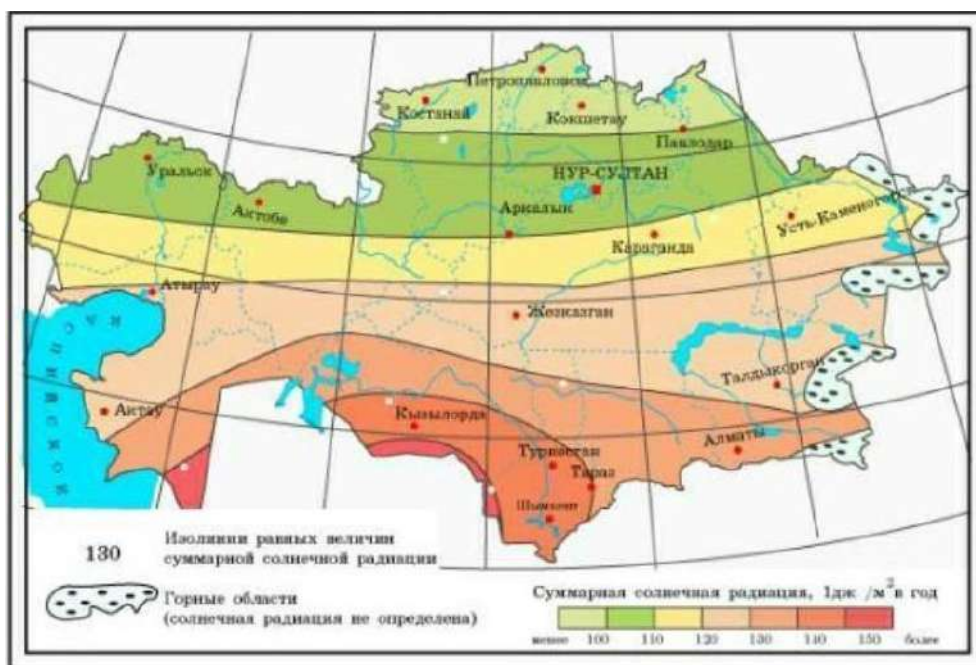


Рисунок 1.1. Карта солнечной радиации на территории Казахстана

Использование карты солнечной активности позволяет определить наиболее перспективные территории для строительства солнечных электростанций, что способствует более эффективному использованию возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан. Наибольшая среднегодовая продолжительность солнечного сияния наблюдается в южных и юго-западных регионах страны, таких как Туркестанская, Жамбылская, Кызылординская и Мангистауская области. Это делает данные регионы наиболее благоприятными для размещения солнечных электростанций (СЭС).



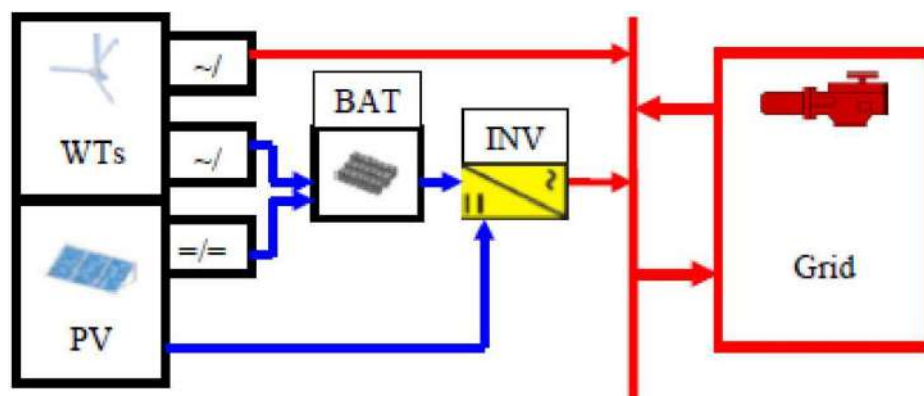
Рисунок 1.2. Карта ветров в Казахстане

Использование карты ветрового потенциала позволяет определить наиболее перспективные территории для строительства ветряных электростанций, что способствует развитию экологически чистой энергетики в Республике Казахстан. Наиболее благоприятными для размещения ВЭС являются регионы с высокими и стабильными скоростями ветра, такие как Джунгарские ворота, Шелекский коридор, а также Акмолинская, Мангистауская и Жамбылская области. Благодаря устойчивым ветровым потокам данные территории считаются наиболее подходящими для развития ветровой энергетики.

Оптимальная структура системы электроснабжения определялась на основе решения задачи математического программирования, направленной на минимизацию затрат с учётом балансов первичной, вторичной и конечной энергии, а также ряда дополнительных условий и ограничений. К ним относятся уровни электропотребления, установленная мощность источников энергии, режимы работы аккумуляторных систем и резервных энергоисточников, компенсирующих нестабильную генерацию возобновляемых источников энергии. Для проведения расчётов использовалась математическая модель REM-2, позволяющая учитывать изменения выработки электроэнергии солнечными и ветровыми установками в зависимости от времени суток и сезонных факторов.

Рисунок 1.3. Схема энергосистемы: WT_s – ВЭУ; PV – ФЭП; BAT – аккумуляторы; INV – инвертор; Grid – сеть, дублирующая энергоисточники

Система электроснабжения включает фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) и ветроэлектрические установки (ВЭУ) с возможностью кратковременного накопления



электроэнергии (рис. 3). В состав системы также входят контроллеры заряда аккумуляторных батарей (АБ), преобразователи напряжения, сетевые инверторы и резервный источник энергии, условно обозначенный как «Сеть». В периоды недостаточной генерации электроэнергии от возобновляемых источников питание поступает из внешней сети по установленному тарифу, тогда как избыточная электроэнергия передается обратно в сеть по аналогичной стоимости.

Для оценки изменения стоимости электроэнергии при переходе на солнечные и ветровые электростанции необходимо учитывать ряд факторов, включая географическое расположение объекта, климатические условия, тип и мощность станции, стоимость оборудования, а также уровень государственной поддержки и регулирования. В данной работе приведён упрощённый пример расчёта, демонстрирующий общий принцип влияния внедрения СЭС и ВЭС на себестоимость электроэнергии в Республике Казахстан.

Средняя стоимость электроэнергии, вырабатываемой ветроэлектростанциями в Казахстане, составляет примерно 22,68 тенге за киловатт-час, тогда как стоимость электроэнергии, производимой солнечными электростанциями, находится в пределах 35 тенге за киловатт-час. За последние годы благодаря развитию технологий и государственной поддержке стоимость производства энергии из возобновляемых источников постепенно снижается, что делает ВИЭ более конкурентоспособными по сравнению с традиционными источниками энергии.

При условии сравнительно низких эксплуатационных расходов в течение срока службы оборудования внедрение солнечных и ветровых электростанций способно существенно сократить затраты на производство электроэнергии. Несмотря на то что итоговые экономические показатели зависят от множества факторов, проведённые расчёты подтверждают экономическую эффективность использования возобновляемых источников энергии в Казахстане.

Использование солнечных и ветровых электростанций является одним из наиболее

экологически безопасных способов производства электроэнергии. В отличие от тепловых электростанций, работающих на угле и газе, ВЭС и СЭС практически не сопровождаются выбросами парниковых газов в процессе эксплуатации, что способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и борьбе с изменением климата.

Дополнительным преимуществом является сравнительно небольшая потребность в земельных ресурсах и возможность интеграции подобных объектов в существующие природные ландшафты с минимальным нарушением экосистем. По сравнению с угольными и атомными электростанциями солнечная и ветровая энергетика также характеризуется более низким уровнем риска для здоровья населения и окружающей среды, поскольку не предполагает использования токсичных веществ и образования опасных отходов.

Солнечная и ветровая энергия относятся к возобновляемым природным ресурсам, что делает их практически неисчерпаемыми. Их активное внедрение позволяет снизить зависимость Казахстана от традиционного ископаемого топлива и уменьшить нагрузку на природные ресурсы. Несмотря на наличие отдельных экологических проблем, связанных с производством и утилизацией оборудования для СЭС и ВЭС, преимущества данных технологий значительно превышают возможные негативные последствия.

В результате проведенного анализа интеграции возобновляемых источников энергии в традиционные системы электроснабжения можно сделать следующие выводы:

- возобновляемая энергетика обладает значительным потенциалом для сокращения зависимости от ископаемого топлива и улучшения экологической ситуации в Казахстане;
- существующие технические и экономические трудности требуют комплексного подхода и дальнейших научных исследований;
- успешное развитие ВИЭ невозможно без государственной поддержки, совершенствования нормативно-правовой базы и международного сотрудничества.

К перспективным направлениям дальнейших исследований относятся разработка более точных систем прогнозирования и управления генерацией энергии от ВИЭ, создание гибких и адаптивных энергетических инфраструктур, а также изучение социальных и экономических последствий внедрения возобновляемой энергетики на уровне отдельных регионов Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ербаев Е.Т., Куптлеуова К.Т., Джапарова Д.А., Редюшев В.Г. Проблемы интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему // Наука и образование. – 2024. – Т. 2. – № 4(77). – С. 279–285.
2. Камалджанова Т.А. Казахстанская энергетическая политика: переход на ВИЭ и перспективы их развития // Journal of Philosophy, Culture and Political Science. – 2025. – Т. 92. – № 2. – С. 127–141.
3. Бекболатова Ж., Григорьев Д., Онгар Б., Шопаева А., Жуматова А. Стратегии рыночной интеграции объектов возобновляемой генерации // Вестник КазАТК. – 2024. – № 4(133). – С. 384–392.
4. Калимбетов Г., Тойгожинова А., Егзекова А., Сабыржанұлы Ә. Энергетическая производительность электрических станций на альтернативных источниках энергии // Вестник КазАТК. – 2023. – № 4(127). – С. 437–445.
5. Успанова Д.М. Возобновляемые источники энергии в системах распределенной генерации // Молодой ученый. – 2024. – № 22(521). – С. 65–68.
6. Суржикова, О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. – 2012. – №3 (4). – С. 103-108.
7. Соснина, Е.Н., Кечкин, А.Ю., Филатов, Д.А. Вопрос электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №5 (107). – С. 100-105.
8. Иванова, И.Ю., Тугузова, Т.Ф., Попов, С.П. Развитие малой энергетики на северо-востоке России: проблемы, эффективность, приоритеты // Малая энергетика – 2006: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 21-24 ноября 2006 г.). – М.: Изд-во ОАО «Малая энергетика», 2006. – С. 1-6.
9. Селиванов, К.В. Анализ способов малого распределенного электроснабжения // Международный науч.-исследовательский журнал. – 2017. – №1 (55). – Ч. 4. – С. 107-110.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379121>

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЭЛЕМЕНТТЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ КУРСЫНА ЕНГІЗУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

МАЖИТОВА А.М.

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті,
Астана, Қазақстан

***Аңдатпа:** Қазіргі таңда білім беру бағдарламалары эксперименттік қолданудан жүйелі интеграцияға көшу кезеңінде тұр, бұл өз кезегінде оқу үдерісін деректерге негізделген жекелендіруге және өндірістік сұраныстарға сәйкестендіруге жол ашады. Мақалада машиналық оқыту (ML), физикалық ақпараттандырылған нейрондық желілер (PINN) және суррогаттық модельдеу сияқты заманауи құралдардың дәстүрлі сандық әдістермен синтезі талданған. Қазақстандық тәжірибе, атап айтқанда «AI-Sana» ұлттық бағдарламасы мен жетекші техникалық университеттердің оқу бағдарламаларын жаңарту стратегиялары ерекше назарға алынды. Сонымен қатар, мақалада цифрлық теңсіздік, этикалық реттеу және оқытушылар құрамының дайындығы сияқты институционалдық кедергілерге терең сараптама жасалып, оларды еңсерудің ғылыми негізделген жолдары ұсынылған.*

***Түйін сөздер:** жасанды интеллект, компьютерлік модельдеу, машиналық оқыту, физикалық ақпараттандырылған нейрондық желілер (PINN), суррогаттық модельдеу, «AI-Sana» бағдарламасы, білім беру әдістемесі, жоғары білім беруді цифрландыру.*

Жоғары білім беру жүйесі қазіргі уақытта жасанды интеллекттің (AI) жедел дамуымен сипатталатын түбегейлі өзгерістер кезеңін бастан кешуде. Компьютерлік модельдеу курсы, инженерлік және жаратылыстану-ғылыми бағыттардың іргетасы ретінде, бұл технологиялық толқынның алдыңғы шебінде тұр. Дәстүрлі компьютерлік модельдеу физикалық процестерді математикалық теңдеулер (көбінесе дифференциалдық теңдеулер) арқылы сипаттауға және оларды сандық әдістермен шешуге негізделсе, заманауи кезең бұл тәсілді деректерге негізделген алгоритмдермен толықтыруды талап етеді[1].

Жаһандық деңгейде университеттер AI-ды жекелеген эксперименттік құрал ретінде пайдаланудан оны оқу бағдарламаларына жүйелі түрде енгізуге көшуде[1]. Бұл трансформацияның негізгі қозғаушы күші – еңбек нарығының өзгеруі. 2027 жылға қарай кәсіби мамандардың шамамен 37%-ы өздерінің күнделікті жұмысында AI құралдарын пайдаланады деп күтілуде[3]. Сондықтан, «компьютерлік модельдеу» курсына AI элементтерін енгізу тек техникалық дағдыларды үйрету емес, сонымен қатар студенттердің «AI-сауаттылығын» қалыптастырудың ажырамас бөлігі болып табылады. Қазақстан контекстінде бұл мәселе мемлекеттік маңызға ие. 2024 жылы қабылданған Жасанды интеллектіні дамытудың 2024–2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы ұлттық AI экожүйесінің негізін қалады[5].

Интеграцияның құрылымдық модельдері

Бірінші модель AI-ды адамның тікелей басқаруындағы көмекші құрал ретінде қарастырады. Мұнда технология мазмұнды жинақтау, талдау және құру үшін қолданылады[1]. Екінші модель – адам мен AI-дың бірлескен жұмыс процестері. Бұл жағдайда AI орындаушы рөлін атқарса, адам бақылаушы және шешім қабылдаушы функцияларын сақтайды. Үшінші, неғұрлым дамыған модельде AI жүйелері белгілі бір деңгейде автономды түрде жұмыс істейді, ал адамның рөлі стратегиялық жұмыс ағындарын құру мен мониторинг жүргізуге ауысады.

Деректерге негізделген оқу бағдарламаларын жобалау

Заманауи зерттеулер көрсеткендей, AI-ға негізделген оқу бағдарламаларын жобалау дәстүрлі тәсілдерден әлдеқайда тиімді(1-кесте). Болжамдық аналитика мен машиналық

оқыту алгоритмдері студенттердің үлгерімін нақты уақыт режимінде бағалауға және «қауіп тобындағы» студенттерді ерте анықтауға мүмкіндік береді.

1-кесте. Студенттердің оқу үлгерімі мен сақталу деңгейінің салыстырмалы кестесі

Көрсеткіш	Дәстүрлі бағдарламасы оқу	AI-ға негізделген бағдарлама
Курсты аяқтау деңгейі	Орташа	89.72%
Студенттерді сақтап қалу	Орташа	91.44%
Оқудан шығу көрсеткіші	Жоғары	4.98%

Компьютерлік модельдеу курсының мазмұнына енгізілетін негізгі AI элементтері

Компьютерлік модельдеу курсына жаңарту үшін оның құрылымына машиналық оқытудың (ML) және терең оқытудың (Deep Learning) іргелі әдістерін енгізу қажет. Бұл әдістер дәстүрлі математикалық модельдеумен синтезделіп, студенттерге күрделі жүйелерді зерттеудің жаңа құралдарын береді.

Студенттер модельдеу барысында статистикалық инференция мен оңтайландыру әдістерін терең түсінуі тиіс. Курс аясында келесі бағыттарды қарастыру ұсынылады[8]:

1. **Бақыланатын оқыту:** Регрессияның түрлері (сызықтық, полиномиалдық, Лассо және Ридж), логистикалық регрессия және жіктеу алгоритмдері (SVM, К-жуық көрші, шешім ағаштары).

2. **Бақылаусыз оқыту:** Кластерлеу (K-means, иерархиялық) және өлшемділікті азайту (PCA - Негізгі компоненттер әдісі).

3. **Нейрондық желілер (Neural Networks):** Көпқабатты перцептрондардан бастап, терең архитектураларға дейін.

Мысалы, сызықтық регрессияның негізінде жатқан градиенттік түсу (Gradient Descent) әдісі оңтайландыру есептерінің ажырамас бөлігі болып табылады:

$$\theta_j := \theta_j - \alpha \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta)$$

мұндағы α – оқу жылдамдығы (learning rate), $J(\theta)$ – шығын функциясы[9]. Бұл математикалық аппаратты модельдеу курсына енгізу студенттерге модельдердің ішкі жұмыс принципі түсінуге көмектеседі.

Заманауи модельдеу есептерінде терең оқытудың әртүрлі архитектуралары қолданылады. Конволюциялық нейрондық желілер (CNN) кеңістіктік деректерді (бейнелерді, өрістерді) өңдеу үшін тиімді болса, Рекурренттік нейрондық желілер (RNN) және LSTM (Long Short-Term Memory) блоктары уақыттық қатарларды модельдеуде таптырмас құрал болып табылады[10]. Бұл технологиялар студенттерге динамикалық жүйелердің мінез-құлқын болжауға мүмкіндік береді.

Физикалық ақпараттандырылған нейрондық желілер (PINN) механизмі

PINN-нің дәстүрлі нейрондық желілерден басты айырмашылығы – оның шығын функциясына физикалық заңдылықтарды (дифференциалдық теңдеулерді) шектеу ретінде

енгізуінде. Бұл тәсіл деректер аз болған жағдайда да физикалық тұрғыдан дұрыс нәтиже алуға кепілдік береді[2].

PINN-нің жиынтық қателігі келесідей есептеледі:

$$\mathcal{L} = w_{data} \mathcal{L}_{data} + w_{pde} \mathcal{L}_{pde} + w_{bc} \mathcal{L}_{bc}$$

мұндағы \mathcal{L}_{data} – таңбаланған деректер бойынша қателік, \mathcal{L}_{pde} – дифференциалдық теңдеудің қалдығы, \mathcal{L}_{bc} – шекаралық шарттардың сақталу қателігі[2]. Бұл әдістеме студенттерге математикалық физика мен машиналық оқытуды біртұтас жүйе ретінде көруге мүмкіндік береді.

Қазақстанның жоғары білім беру жүйесіндегі AI-интеграциясы: Тәжірибе мен стратегиялар

Қазақстанда жасанды интеллектті білім беруге енгізу мемлекеттік саясаттың ажырамас бөлігіне айналды. Ғылым және жоғары білім министрлігінің қолдауымен бірнеше ірі бастамалар іске асырылуда.

«AI-Sana» ұлттық бағдарламасы

«AI-Sana» бағдарламасы Қазақстанның жоғары оқу орындарында AI құзыреттілігін дамытуға бағытталған ауқымды бастама болып табылады. Оның аясында 650 мың студентті AI негіздеріне оқыту, 100 мың студентті стартаптарға дайындау және 1500-ден астам MVP (минималды өміршең өнім) жобаларын жасау жоспарланған[6].

AI интеграциясы Лев Выготскийдің «Жанама даму аймағы» теориясына негізделеді. AI құралдары студенттерге олардың ағымдағы қабілетінен жоғары күрделіліктегі модельдеу тапсырмаларын орындауға мүмкіндік беретін «интеллектуалды скаффолдинг» қызметін атқарады[7]. Бұл тәсіл студенттің өз бетінше орындай алатын іс-әрекеті мен AI көмегімен жүзеге асыратын күрделі жобалары арасындағы алшақтықты жояды.

Компьютерлік модельдеуде AI-ға негізделген виртуальды лабораториялар мен чат-боттарды қолдану оқу тиімділігін арттырады. Мұндай лабораториялар студенттерге қауіпті немесе қымбат эксперименттерді қауіпсіз цифрлық ортада жүргізуге, нақты уақыт режимінде кері байланыс алуға мүмкіндік береді[9]. Сонымен қатар, ойын элементтерін енгізу – мысалы, SimCity немесе стратегиялық ойындар арқылы модельдеу принциптерін үйрету – студенттердің пәнге деген қызығушылығын арттырады[9].

Қорытынды

«Компьютерлік модельдеу» курсына жасанды интеллект элементтерін енгізу – бұл уақыт талабы және инженерлік білім берудің болашағы. Бұл процесс тек жаңа құралдарды қосумен шектелмейді, ол модельдеу парадигмасын «физикадан» «деректерге негізделген физикаға» (PINN, суррогаттық модельдер) ауыстыруды білдіреді.

Зерттеу барысында келесідей негізгі түйіндер жасалды:

1. AI-ды білім беруге енгізу оқу тиімділігін арттырады, бірақ ол үшін сапалы деректер жиыны мен қуатты есептеуіш инфрақұрылым қажет.

2. Қазақстанның «AI-Sana» сияқты ұлттық бастамалары білім беру бағдарламаларын жаңартуға мықты серпін береді, алайда өңірлік теңсіздік пен кадр тапшылығы мәселелері әлі де өзекті.

3. Оқыту әдістемесінде «AI-мен ассистенттелген оқыту» және конструктивті тәсілдер басымдыққа ие болуы тиіс, бұл студенттердің сыни ойлауын дамытуға мүмкіндік береді.

Болашақта компьютерлік модельдеу курстары толығымен жекелендірілген, нақты уақыттағы өндірістік деректермен жұмыс істейтін және AI ассистенттерімен жабдықталған динамикалық ортаға айналады. Бұл қазақстандық инженерлердің жаһандық еңбек нарығында бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін негізгі фактор болмақ. Оқу бағдарламаларын AI-мен байыту – бұл тек техникалық процесс емес, бұл цифрлық заманның жаңа интеллектуалды элитасын қалыптастыру жолындағы стратегиялық қадам.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Левченко И.В., Абушкин Д.Б., Карташова Л.И. Модуль 'Машинное обучение систем искусственного интеллекта' в общеобразовательном курсе информатики // Информатика и образование. – 2021. – № 3. – С. 45-57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modul-mashinnoe-obuchenie-sistem-iskusstvennogo-intellekta-v-obscheobrazovatelnom-kurse-informatiki> (дата обращения: 06.04.2025).
2. Plassmann H., Venkatraman V., Huettel S., Yoon C. Consumer neuroscience: applications, challenges, and possible solutions // Journal of marketing research. – 2015. – № 4. – p. 427-435. – doi: 10.1509/jmr.14.0048.
3. Mouha R.A. Internet of Things (IoT) // Journal of Data Analysis and Information Processing. – 2021. – № 2. – p. 77-101.
4. AI-Sana at Satbayev University — Satbayev University, дата последнего обращения: мая 14, 2026, <https://official.satbayev.university/en/stud/ai-sana>
5. Основы моделирования искусственного интеллекта (ИИ). <https://meridian.allenpress.com/jim/article/51/1/35/500922/Basics-of-Artificial-Intelligence-AI-Modeling>;
6. Syllabus | Machine Learning | Electrical Engineering and Computer Science, дата последнего обращения: мая 14, 2026, <https://ocw.mit.edu/courses/6-867-machine-learning-fall-2006/pages/syllabus/>
7. Генеративный искусственный интеллект: как нейросети создают контент. <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/48652>;
8. Finite-Element-Based Methodology for Training Neural Network Surrogate Models, <https://research.rutgers.edu/news/finite-element-based-methodology-training-neural-network-surrogate-models>
9. Mathematical and Computer Modelling - Admissions - Farabi University, https://welcome.kaznu.kz/en/education_programs/bachelor/speciality/1705
10. Integration of Artificial Intelligence into the Curricula of ... - Dialnet, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10359884.pdf>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379144>
УДК 541-67;863

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННО- КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ГАСАНОВ ОКТАЙ МАИЛОВИЧ

доцент, доктор философии по физике, АГПУ, Баку, Азербайджан

АДГЕЗАЛОВА ХАТЫРЯ АГАКАРИМ КЫЗЫ

доцент, доктор философии по физике, АГПУ, Баку, Азербайджан

ГУСЕЙНОВ ДЖАХАНГИР ИСЛАМ ОГЛЫ

профессор, доктор физико-математических наук, АГПУ, Баку, Азербайджан

***Аннотация:** Метод проектов сегодня является одной из самых популярных и эффективных технологий обучения в современной школе, реализующих личностно-ориентированный и деятельностный подходы к обучению подрастающего поколения и направленных, в первую очередь, на развитие творческих способностей, развитие критического и рефлексивного мышления, формирование проектных и коммуникативных умений, способностей сотрудничать и самообучаться.*

***Ключевые слова:** метод проектов, проектная деятельность, интернет, ИКТ, информационные технологии.*

Проектная составляющая деятельности как умение и готовность человека проектировать в широком смысле этого слова связывается с необходимостью проведения исследования, и с проявлением продуктивного и творческого мышления, и с анализом существующего состояния объекта (процесса), и с постановкой и разрешением реально существующих проблем, и с реализацией идей, концепций, конструктов с помощью разнообразных технологий создания нового и т.д. В этом и заключается проектно-технологический компонент деятельности человека, как в профессиональной сфере жизни, так и в быту, социальном взаимодействии личности.

Образовательная область «Технология» является, пожалуй, единственной в рамках школьного образования, в которой официально закреплено и в полной мере реализуется проектная технология обучения. И именно здесь подчеркивается комплексный характер проектной деятельности, при организации которой учащийся не только проходит через все этапы проектирования и выполняет специфические для проектировщика виды деятельности, но и реализует внутрипредметные (между различными разделами программы и технологиями) и межпредметные (межнаучные, практико-ориентированные) связи через содержание выполняемой деятельности.

Проблема индивидуализации обучения в современной педагогике связывается со способом организации обучения или подходам к организации различных способов обучения, при котором в максимальной степени учитываются индивидуальные особенности учащихся, и выстраивается оптимальная траектория обучения, способствующая реализации потенциальных возможностей каждого ребенка.

Индивидуализация как подход к организации учебного процесса заложен уже в самой философии проектного метода. Об этом свидетельствует сравнительный анализ идей метода проектов по индивидуализации обучения.

Основными сквозными линиями и того, и другого взгляда на организацию учебного процесса являются: направленность на личность каждого ученика, учет его возрастных и личностных особенностей, способностей, интересов и склонностей; организация учебной

деятельности не в логике предмета (преподавания), а, в первую очередь, в логике индивидуальных предпочтений учащихся (учения); опора на субъективный опыт учащихся, включение этого опыта в учебный процесс посредством частично-поисковых и исследовательских методов обучения; предоставление учащимся возможности выбора учебных тем, вопросов, проблем, заданий, объектов труда, времени и формы предоставления образовательного продукта, технологии выполнения работы; направленность не только, и не сколько на формализованный результат учебной деятельности, а на процесс выполнения работы, его творческую и мотивационную составляющую.

Информационные (информационно-коммуникационные) технологии сегодня понимаются шире, чем компьютерные и телекоммуникационные технологии. К ним можно отнести все технологии поиска, обработки и анализа информации, которые возможны как с помощью технических средств (компьютера, факса, ксерокса, принтера, сканера и пр.), традиционных вербальных и невербальных средств общения людей друг с другом, так и технологий, связанных с принятием решений в области экономики и управления (маркетинга, менеджмента, рекламы, имиджа и пр.). Основными, объединяющими чертами всего этого разнообразия технологических средств служат следующие:

- технологические особенности работы с информацией (поиск, анализ, передача, сохранение, оценка, рефлексия и т.д.);
- принятие логически обоснованных решений (часто в условиях неопределенности и недостатка информации);
- применение математических, статистических, социологических, психолого-педагогических и других методов обработки информации.

В проектной деятельности школьников (за исключением информационных и телекоммуникационных проектов) практически на каждом этапе за исключением технологического, связанного с обработкой конструкционных и декоративных материалов, используются различные информационно-коммуникационные технологии, либо это применение компьютера и других технических средств для выполнения и оформления проекта, либо выбор материальных или технологических средств деятельности, либо коммуникативные аспекты групповой работы, связанные с выполнением коллективных проектов. В основном эти виды работы варьируются в зависимости от индивидуальных особенностей учащихся и специфики руководства проектной деятельностью учителем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Разнообразие компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал ENDLESS LIGHT in SCIENCE, 17 Декабря 2022 Алматы, Казахстан, ст. 3-5.
2. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив внедрения компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал «ГЛОБАЛЬНАЯ НАУКА И ИННОВАЦИЯ 2022: ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ» № 4(18). ДЕКАБРЬ 2022, Алматы, Казахстан, ст. 9-11.
3. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив использования компьютерных технологий в средней школе по физике// ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ, №87, Июль 2022 Самара, ст. 46-49.
4. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Особенности виртуального эксперимента в преподавании физики// Журнал «Инновационные научные исследования», выпуск №4-1(18) Апрель 2022, Уфа.
5. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. // ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИКТ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ // NATIONAL ACADEMY OF SCIENTIFIC AND INNOVATIVE RESEARCH «SCIENCE AND EDUCATION: MODERN TIME» (ISSUE 16, SEPTEMBER 2025) Казахстан, г. Астана. ст.121-123.
6. Гасанов О.М. //РАЗЛИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 июня 2025 г. Almaty, Kazakhstan, ст. 6-9.
7. G. Əkbərova, N. Aslanov, X. Adigözəlova, I. Əlmərdanova // Fizikanın səmərəli tədrisində oyun və layihələrdən istifadənin rolu// IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF YOUNG RESEARCHERS, 23-24, May 2025, Baku, Azerbaijan, səh. 634-638.
8. Гасанов О.М., Алимарданова И.М. // РОЛЬ ИКТ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 февраля 2026 г. Almaty, Kazakhstan.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379176>
ӘОЖ 004.77

БҰЛТТЫ ЕСЕПТЕУЛЕР МЕН BIG DATA-ДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ҚОЛДАНУ

ТОКАНОВ МАНСУР МАРАТОВИЧ

I.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының оқытушы-дәріскері, PhD

СЕРІКМҰРАТ АРУЖАН АСХАТҚЫЗЫ

I.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының оқытушы-ассистенті

ОРАЗБАЕВ АСЫЛБЕК АМАНХОСУЛЫ

I.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының 3 курс білімгері, СЖК 311 топ,
SMART жүйелерді жобалау БББ

Аннотация: Мақалада бұлтты есептеулер (Cloud Computing), Big Data және жасанды интеллект (Artificial Intelligence) технологияларының қазіргі ақпараттық қоғамдағы рөлі қарастырылады. Зерттеу барысында аталған технологиялардың негізгі түсініктері, олардың өзара байланысы және әртүрлі салаларда қолданылу мүмкіндіктері талданды. Сонымен қатар бұл технологиялардың бизнес, медицина, білім беру, қаржы және өнеркәсіп салаларындағы тиімділігі көрсетілді. Жұмыста Big Data-ның негізгі сипаттамалары, бұлтты технологиялардың артықшылықтары және жасанды интеллекттің негізгі бағыттары қарастырылған. Қорытынды бөлімде аталған технологиялардың болашақ даму перспективалары мен олардың қоғамға әсері сипатталған.

Кілттік сөздер: Бұлтты есептеулер, Big Data, жасанды интеллект, ақпараттық технологиялар, машиналық оқыту, деректерді талдау, цифрлық трансформация, автоматтандыру.

Қазіргі кезеңде цифрлық технологиялардың дамуы әлемдік қоғамның барлық саласына үлкен өзгерістер енгізуде. Ақпараттық технологиялар күн сайын жетіліп, адамдардың өмір сүру сапасын арттыруға және түрлі өндірістік процестерді автоматтандыруға мүмкіндік беруде. Соңғы жылдары деректер көлемінің күрт өсуі нәтижесінде оларды сақтау, өңдеу және талдау мәселесі ерекше маңызға ие болды. Осыған байланысты бұлтты есептеулер (Cloud Computing), Big Data және жасанды интеллект (Artificial Intelligence) технологиялары кеңінен дами бастады.

Бұл технологиялар ұйымдарға үлкен көлемдегі ақпаратты тиімді басқаруға, мәліметтерді жылдам өңдеуге және нақты шешім қабылдауға көмектеседі. Әсіресе қаржы, білім беру, медицина, өндіріс және бизнес салаларында олардың қолданылу аясы кеңейуде. Мысалы, ірі компаниялар тұтынушылардың сұранысын анықтау үшін Big Data технологияларын пайдаланса, жасанды интеллект сол ақпараттарды талдап, тиімді шешімдер ұсынады. Ал бұлтты есептеулер ақпараттарды қауіпсіз сақтауға және интернет арқылы қолжетімді етуге мүмкіндік береді.

Халықаралық технологиялық компаниялардың ресми мәліметтері бойынша, жасанды интеллект пен бұлтты инфрақұрылым болашақтағы экономиканың негізгі қозғаушы күштерінің бірі болып саналады. Сондықтан аталған технологияларды зерттеу мен оларды тиімді пайдалану қазіргі қоғам үшін маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Бұлтты есептеулер – интернет желісі арқылы серверлерді, бағдарламаларды, мәліметтер қорын және басқа есептеу ресурстарын қолдануға мүмкіндік беретін технология.

Дәстүрлі жүйеде пайдаланушы барлық ақпаратты өзінің компьютерінде сақтаса, бұлтты технологияда деректер қашықтағы серверлерде орналасады. Осы арқылы ақпаратты кез келген жерден және кез келген құрылғы арқылы қолдануға болады.

IBM компаниясының ресми анықтамасы бойынша, бұлтты есептеулер ұйымдарға икемді әрі қауіпсіз цифрлық инфрақұрылым құруға мүмкіндік береді. Бұл технология кәсіпорындардың шығындарын азайтып, ақпараттық жүйелердің жұмыс тиімділігін арттырады. Сонымен қатар пайдаланушылар қажетті ресурстарды өз сұранысына байланысты көбейтіп немесе азайта алады.

Қазіргі таңда әлемде Amazon Web Services, Google Cloud және Microsoft Azure платформалары кең таралған. Бұл платформалар үлкен көлемдегі деректерді сақтап, жасанды интеллект жүйелерін іске қосуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұлтты технологиялар резервтік көшіру, деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету және жүйенің үздіксіз жұмысын сақтау сияқты маңызды міндеттерді орындайды.

Big Data – көлемі өте үлкен, үнемі жаңарып отыратын және әртүрлі форматта кездесетін ақпараттар жиынтығы. Мұндай деректерді дәстүрлі бағдарламалар арқылы өңдеу қиын болғандықтан, арнайы аналитикалық жүйелер қолданылады. Big Data технологиялары ақпараттарды жинауға, сақтауға, өңдеуге және талдауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта әлемде күн сайын әлеуметтік желілер, интернет-дүкендер, банктер және мобильді қосымшалар арқылы миллиардтаған деректер қалыптасады. Бұл мәліметтер тұтынушылардың мінез-құлқын зерттеуге, болашақтағы өзгерістерді болжауға және тиімді басқару шешімдерін қабылдауға көмектеседі.

Big Data-ның негізгі ерекшеліктері:

1. Volume – ақпарат көлемінің өте үлкен болуы;
2. Velocity – мәліметтердің жоғары жылдамдықпен өзгеруі;
3. Variety – деректердің әртүрлі форматта болуы;
4. Veracity – ақпараттың нақтылығы мен сенімділігі;
5. Value – ақпараттың құндылығы.

Big Data технологиясы көптеген салаларда пайдаланылады.

Мысалы:

1. медицинада науқастардың ауру тарихын талдау;
2. банктерде қаржылық операцияларды бақылау;
3. маркетингте тұтынушылардың қызығушылығын анықтау;
4. білім беру саласында оқушылардың оқу нәтижелерін зерттеу.

Google Cloud және Microsoft Azure сияқты платформалар үлкен көлемдегі мәліметтерді өңдеуге арналған арнайы құралдар ұсынады. Бұл жүйелер ақпараттарды тез өңдеп, нақты нәтижелер шығаруға мүмкіндік береді.

Жасанды интеллект – адамның интеллектуалдық әрекеттерін орындай алатын компьютерлік технология. Ол мәліметтерді талдап, үйреніп, белгілі бір шешімдер қабылдай алады. Жасанды интеллект қазіргі таңда көптеген салаларда қолданылып, өндіріс пен қызмет көрсету жүйелерін автоматтандыруға мүмкіндік беруде.

Жасанды интеллекттің негізгі бағыттары:

1. машиналық оқыту (Machine Learning);
2. нейрондық желілер;
3. табиғи тілді өңдеу;
4. компьютерлік көру;
5. робототехника.

Machine Learning технологиясы арқылы жүйе үлкен көлемдегі деректерді талдап, заңдылықтарды анықтайды. Мысалы, интернет-дүкендер тұтынушылардың алдыңғы сатып алуларына қарап жаңа ұсыныстар береді. Сонымен қатар жасанды интеллект медициналық суреттерді талдап, ауруларды ерте анықтауға көмектеседі.

Жасанды интеллекттің артықшылықтары:

1. ақпаратты тез өңдеу;
2. адам еңбегін азайту;
3. қателіктерді төмендету;
4. нақты болжау жасау;
5. автоматтандырылған басқару жүйелерін құру.

Дегенмен, жасанды интеллектті қолдануда қауіпсіздік мәселелері де бар. Кейбір жағдайларда жеке мәліметтердің қорғалуы, киберқауіпсіздік және технологияға тәуелділік мәселелері туындайды. Сондықтан жасанды интеллектті пайдалану кезінде этикалық және құқықтық нормаларды сақтау маңызды.

Бұлтты есептеулер мен Big Data-да жасанды интеллект қолдану

Жасанды интеллект, Big Data және бұлтты есептеулер бір-бірімен тығыз байланысты технологиялар болып табылады. Big Data үлкен көлемдегі ақпаратты жинап сақтаса, бұлтты есептеулер сол ақпараттарды өңдеуге қажетті инфрақұрылымды қамтамасыз етеді. Ал жасанды интеллект деректерді талдап, тиімді шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді (1-сурет).



Сурет 1. Жасанды интеллект, Big Data және бұлтты есептеулердің тығыз байланысы

Компаниялар клиенттердің қажеттіліктерін анықтау үшін жасанды интеллект пен Big Data технологияларын пайдаланады. Мысалы, интернет-дүкендер пайдаланушылардың іздеу тарихын талдап, оларға сәйкес өнімдерді ұсынады. Бұл компаниялардың табысын арттыруға көмектеседі.

Медицинада жасанды интеллект науқастардың мәліметтерін талдап, диагноз қою процесін жылдамдатады. Сонымен қатар бұлтты жүйелер медициналық ақпараттарды қауіпсіз сақтап, дәрігерлердің ақпаратқа тез қол жеткізуіне мүмкіндік береді.

Қашықтан оқыту платформалары оқушылардың білім деңгейін автоматты түрде талдай алады. Жасанды интеллект әр оқушының үлгеріміне сәйкес жеке оқу бағдарламасын ұсынады. Бұл білім беру сапасын арттыруға ықпал етеді.

Банктерде Big Data технологиясы клиенттердің қаржылық әрекеттерін бақылауға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект күмәнді операцияларды анықтап, алаяқтық әрекеттердің алдын алады.

Өнеркәсіп орындары жасанды интеллект арқылы өндірістік құрылғылардың жұмысын бақылайды. Арнайы жүйелер техникалық ақауларды алдын ала анықтап, өндірістің тоқтап қалуын азайтады. Бұл кәсіпорындардың тиімділігін арттырады.

Бұлтты есептеулер, Big Data және жасанды интеллект технологиялары көптеген мүмкіндіктер береді. Олар:

1. үлкен көлемдегі ақпаратты жылдам өңдейді;
2. жұмыс процестерін автоматтандырады;
3. уақыт пен қаржыны үнемдейді;
4. нақты шешім қабылдауға көмектеседі;
5. ақпараттың қолжетімділігін арттырады.

Сонымен қатар бұл технологиялар ұйымдардың бәсекеге қабілеттілігін күшейтіп, инновациялық жобаларды дамытуға мүмкіндік береді.

Аталған технологиялардың кемшіліктері де бар. Негізгі мәселелер:

1. киберқауіпсіздік қатері;
2. жеке мәліметтердің қорғалмауы;
3. интернетке тәуелділік;
4. жүйелерді енгізудің жоғары құны;
5. білікті мамандардың жетіспеуі.

Сондықтан бұл технологияларды енгізу барысында қауіпсіздік талаптарын сақтау және мамандарды даярлау маңызды болып табылады.

Қорытындылай келе, бұлтты есептеулер, Big Data және жасанды интеллект қазіргі ақпараттық қоғамның негізгі технологияларының бірі болып саналады. Олар үлкен көлемдегі ақпаратты сақтау, өңдеу және талдау жұмыстарын жеңілдетеді. Бұл технологиялар бизнес, медицина, білім беру, қаржы және өндіріс салаларының тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады.

Болашақта жасанды интеллект пен бұлтты технологиялардың дамуы жалғасып, олардың қолданылу аясы одан әрі кеңейеді. Сондықтан аталған технологияларды меңгеру, оларды қауіпсіз әрі тиімді пайдалану қазіргі заман мамандары үшін маңызды талаптардың бірі болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Киншинбаев А. К., Абатов Н. Т. Өнімділікті арттыру үшін бұлтты есептеу жүйелерін модельдеу //Теория и практика современной науки. – 2024. – №. 10 (112). – С. 62-65.
2. Тасуов Б. и др. Білім алушылардың цифрлық сауаттылығын қалыптастыру мақсатында бұлтты технологияларды пайдалану //Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. – 2025. – Т. 6. – №. 1. – С. 40-57.
3. Поголовкин Д. и др. Разработка сервиса анализа переписок с использованием технологий искусственного интеллекта и векторной базы данных для цифровой криминалистики //Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. – 2025. – Т. 6. – №. 1. – С. 201-225.
4. Zhubaniyazova U. B. Қытайдағы ақпараттық технологиялар саласындағы жаңғыртулар ішкі реформалардан жаһандық ықпалға дейін //Journal of Oriental Studies. – 2025. – Т. 115. – №. 4. – С. 22-31.
5. Атымтаева Л. и др. Обзор угроз информационной безопасности в предприятии //С. Демирел атындағы университеттің хабаршысы: жаратылыстану және техникалық ғылымдар. – 2020. – С. 119.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379226>
УДК 332.64

AZƏRBAYCAN VƏ İSRAİL TƏCRÜBƏSİ ÜÇÜN NƏZƏRDƏ TUTULAN DAŞINMAZ ƏMLAK LAYİHƏLƏRİNDƏ İNŞAAT PROSESLƏRİNİN İDARƏ EDİLMƏSİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

YUSİFOV MAARİF ZABİT OĞLU

BQİR kafedrasının dosenti, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

NƏZMİYYƏ BAĞIROVA YELMAR QIZI

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə: Bu məqalədə icarə üçün nəzərdə tutulan daşınmaz əmlak layihələrində inşaat proseslərinin idarə edilməsi Azərbaycan və İsrail təcrübəsi əsasında müqayisəli şəkildə araşdırılır. İsraildə tətbiq olunan sistemli dövlət-özal əməkdaşlığı modeli ilə Azərbaycandakı mövcud təcrübə təhlil edilmişdir. Müqayisə göstərir ki, vahid qanunvericilik bazası və inteqrasiyalı idarəetmə yanaşması layihələrin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Azərbaycan daşınmaz əmlak bazarı üçün praktiki tövsiyələr irəli sürülmüşdür.

Açar sözlər: Müqayisəli təhlil, icarə layihələri, inşaat idarəçiliyi, Pinuy-Binuy, daşınmaz əmlak bazarı, layihə idarəetməsi.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSTRUCTION PROCESS MANAGEMENT IN RENTAL-ORIENTED REAL ESTATE PROJECTS: BASED ON THE EXPERIENCE OF AZERBAIJAN AND ISRAEL

M.Z.YUSIFOV

PhD, Associate professor, Azerbaijan University of Architecture and Construction

N.Y. BAGHIROVA

Azerbaijan University of Architecture and Construction

Abstract: This article examines the management of construction processes in rental-oriented real estate projects through a comparative analysis based on the experiences of Azerbaijan and Israel.

The systematic public-private partnership model applied in Israel has been analyzed alongside the existing practices in Azerbaijan. The comparison demonstrates that a unified legislative framework and an integrated management approach significantly enhance project efficiency.

Practical recommendations have been put forward for the Azerbaijani real estate market.

Keywords: Comparative analysis, rental projects, construction management, Pinuy-Binuy, real estate market, project management.

1. Giriş.

Daşınmaz əmlak sektorunda icarəyə yönəlik layihələrin idarə edilməsi müasir layihə menecmentinin ən çətin sahələrindən biri hesab olunur. Bu layihələrdə gecikmə, büdcədən kənarlaşma və gözlənilməz risklər investisiya gəlirliliyinə birbaşa azalan təsir göstərir. Araşdırmalara əsasən, problemin kökündə vahid və inteqrasiyalı idarəetmə modelinin olmaması görünür.

İsrail bu cəhətdən dünya miqyasında nümunəvi təcrübəyə sahib ölkələrdən biridir. Dövlət tərəfindən tənzimlənən şəhər yenilənməsi proqramları çərçivəsində inşaat prosesləri sistemli şəkildə idarə olunur.

Azərbaycanda isə son illərdə daşınmaz əmlak bazarı sürətlə inkişaf edir. İcarəyə yönəlik

layihələrin sayı artmaqdadır. Lakin bu sahədə tətbiq olunan idarəetmə yanaşmaları hələ də kifayət qədər sistemləşdirilməyib. Məqalənin məqsədi hər iki ölkənin təcrübəsini müqayisəli təhlil etmək və Azərbaycan şəraitinə uyğun idarəetmə tövsiyələri formalaşdırmaqdır.

2. Nəzəri üsul və metodikalar.

2.1 İcarə layihələrinin xüsusiyyətləri və gəlir modeli.

Daşınmaz əmlak icarəsi və inşaat idarəçiliyi müasir iqtisadiyyatın bir-biri ilə sıx bağlı iki sahəsini təşkil edir. İcarəyə yönəlik layihələrdə inşaat proseslərinin idarə edilməsi xüsusi metodoloji yanaşma tələb edir, çünki bu layihələrdə gəlir modeli satış layihələrindən köklü şəkildə fərqlənir. Satış layihələrindən investorun gəliri tikintinin başa çatması ilə formalaşır. İcarə layihələrində isə gəlir on illər ərzində toplanır və bu da hər idarəetmə qərarının uzunmüddətli nəticələrini ön plana çıxarır [9].

2.2. Hüquqi normativ çərçivə və tənzimləmə mexanizmləri.

Nəzəri baxımdan bu layihələrin idarə edilməsi vaxt, xərc və risk komponentlərinin inteqrasiyalı idarəsini tələb edir. Azərbaycan Mülki Məcəlləsi icarə münasibətlərinin hüquqi əsasını müəyyənləşdirir. İsrail qanunvericiliyi isə bu əsas xüsusi tikinti mexanizmləri ilə tamamlayır [7].

Hər iki ölkənin metodoloji yanaşması dünya layihə idarəçiliyi standartlarına söykənir, lakin tətbiq modeli baxımından bir-birindən fərqlənir [5]. Bu fərqlərin nəzəri əsaslarının aydınlaşdırılması sonrakı bölmələrdə aparılacaq müqayisəli təhlilin zəruri şərtidir.

3. Azərbaycanda inşaat proseslərinin idarə edilməsi.

Azərbaycanda daşınmaz əmlak bazarının inkişafı icarəyə yönəlik inşaat layihələrinin sayının artmasına zəmin yaratmışdır. Bakıda son illərdə tikilib istifadəyə verilən yaşayış kompleksləri və kommersiya obyektlərinin böyük hissəsi icarə məqsədi daşıyır. Bu tendensiya inşaat proseslərinin idarə edilməsinə olan tələbi də artırmışdır.

Azərbaycanda inşaat sektorunun idarəetmə sistemi müstəqillik dövründən sonra formalaşmağa başlamış və beynəlxalq standartlara inteqrasiya prosesi davam etməkdədir. Hüquqi baxımdan icarəyə yönəlik tikinti layihələri Mülki Məcəllə çərçivəsində tənzimlənir [1]. Bu çərçivə icarə münasibətlərinin əsas şərtlərini müəyyənləşdirsə də, inşaat proseslərinin idarə edilməsinə dair xüsusi tələblər hələ kifayət qədər sistemləşdirilməmişdir [3].

Praktikada özəl şirkətlər layihə idarəçiliyinin beynəlxalq metodologiyalarına müraciət edir. Vaxt idarəsində Kritik Yol metodu, xərc idarəsində Qazanılmış Dəyər Metodu tətbiq edilsə də, bu metodların sistemli və ardıcıl tətbiqi hələ geniş yayılmamışdır [4]. Risk idarəsi sahəsində isə vəziyyət daha da zəifdir. Layihələrin böyük hissəsində risklərin əvvəlcədən müəyyənləşdirilməsi və cavab strategiyalarının hazırlanması sistemli xarakter daşıyır.

Bütün bu amillər Azərbaycanda icarəyə yönəlik inşaat layihələrinin idarə edilməsinin gücləndirilməsinə ciddi ehtiyac olduğunu göstərir [2].

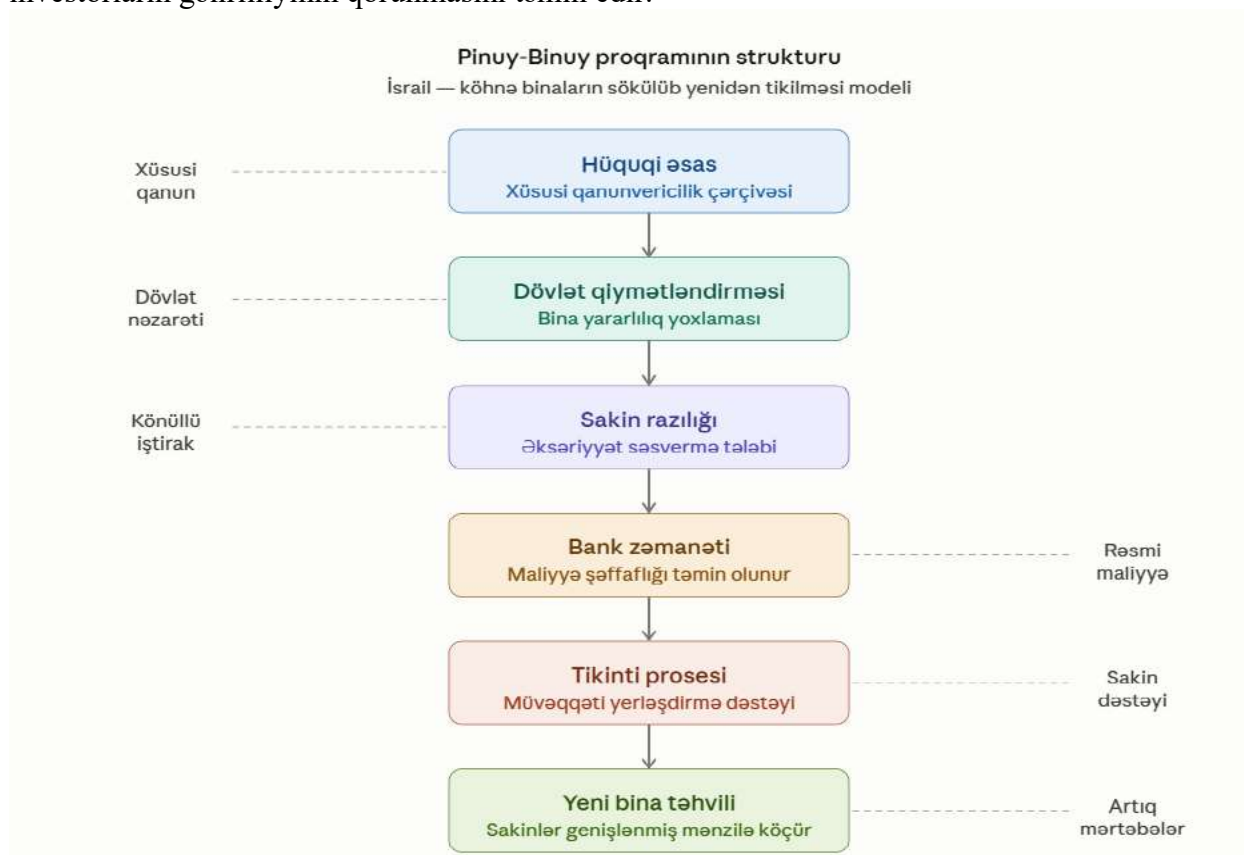
4. İsraildə icarə üçün nəzərdə tutulan daşınmaz əmlak layihələrinin idarə edilməsinin xüsusiyyətləri.

İsrail kiçik ərazisi və yüksək əhali sıxlığı olmasına baxmayaraq daşınmaz əmlak sektorunda dünya miqyasında nümunəvi təcrübəyə malik ölkələrdən biri kimi tanınır. İcarə üçün nəzərdə tutulan inşaat layihələrinin idarə edilməsində İsrailin əsas üstünlüyü güclü dövlət-özəl əməkdaşlığı modelindən irəli gəlir [10]. Bu modelin mərkəzini Pinuy-Binuy mexanizmi təşkil edir. Həmin mexanizm köhnə binaların sakinlərlə razılıq əsasında boşaldılmasını, binaların sökülməsini və yerində müasir yaşayış komplekslərinin tikilməsini nəzərdə tutur.

Prosesin bütün mərhələlərində dövlət nəzarəti təmin edilir, sakinlərə bank zəmanəti verilir və köçmə xərcləri yatırımcı tərəfindən ödənilir. Vaxt idarəsi baxımından İsraildə inşaat layihələri üçün ciddi qanuni müddətlər müəyyənləşdirilmişdir. Layihənin hər mərhələsi ayrıca təsdiq olunur və icra müddəti nəzarət altında saxlanılır.

Xərc idarəsi sahəsində isə bank müşayiəti mexanizmi xüsusi rol oynayır: hər layihə üçün maliyyə təminatı əvvəlcədən müəyyənləşdirilir və xərclər müstəqil auditlə izlənilir [8]. Risk idarəsi baxımından isə İsraildə hüquqi çərçivə layihə iştirakçılarının hər birinin məsuliyyətini aydın şəkildə müəyyənləşdirir [7].

Bu kompleks yanaşma icarəyə yönəlik layihələrin vaxtında başa çatdırılmasını və investorların gəlirliliyinin qorunmasını təmin edir.



Şəkil. Pinuy-Binuy proqramının strukturu

İki ölkə modelinin müqayisəli qiymətləndirilməsi və Azərbaycan üçün praktiki tövsiyələr

Azərbaycan və İsrailin icarəyə yönəlik daşınmaz əmlak layihələrində inşaat proseslərinin idarə edilməsi müqayisəli təhlil edildikdə hər iki ölkə arasında həm oxşarlıqlar, həm də əhəmiyyətli fərqlər aşkar olunur. Oxşarlıqlar baxımından hər iki ölkədə sürətli şəhərləşmə prosesi icarəyə yönəlik layihələrə tələbi artırmış, beynəlxalq layihə idarəçiliyi metodologiyaları isə hər iki ölkənin inşaat sektorunda tətbiq edilməkdədir [5]. Vaxt, xərc və risk idarəsinin əsas problemlər kimi qalması da hər iki ölkəyə xas olan ümumi xüsusiyyətdir.

Fərqlər baxımından isə vəziyyət daha əhəmiyyətlidir. Hüquqi çərçivə baxımından İsrail icarəyə yönəlik inşaat layihələri üçün xüsusi qanunvericilik bazası formalaşdırmışdır. Azərbaycanda isə bu sahə ümumi mülki qanunvericilik çərçivəsində tənzimlənir [1]. Dövlət iştirakı baxımından İsraildə dövlət layihə prosesinin bütün mərhələlərini nəzarət altında saxlayır, sakinlərə bank zəmanəti verir və maliyyə şəffaflığını təmin edir. Azərbaycanda isə dövlətin bu sahədəki rolu hələ kifayət qədər sistemləşdirilməmişdir. Risk idarəsinə görə İsraildə hüquqi mexanizmlər vasitəsilə layihə iştirakçılarının məsuliyyəti aydın müəyyənləşdirilmişdir. Azərbaycanda bu sahədə boşluqlar mövcuddur.

Aparılan müqayisə əsasında Azərbaycan üçün müəyyən tövsiyələr irəli sürmək mümkündür. İcarə üçün nəzərdə tutulan inşaat layihələrinin idarə edilməsi üçün xüsusi normativ baza formalaşdırılmalıdır. Bank müşayiəti mexanizmi tətbiq edilməli və layihələrin maliyyə şəffaflığı təmin olunmalıdır. Vaxt, xərc və risk idarəsinin inteqrasiyalı həyata keçirilməsi üçün vahid standartlar müəyyənləşdirilməlidir [4].

İsrail təcrübəsinin Azərbaycan şəraitinə uyğunlaşdırılması ölkənin daşınmaz əmlak bazarının inkişafına əhəmiyyətli töhfə verə bilər [9].

Cədvəl. Azərbaycan və İsrailin icarə üçün nəzərdə tutulan inşaat layihələrinin müqayisəsi.

Göstərici	İsrail	Azərbaycan
Hüquqi çərçivə	Xüsusi qanunvericilik bazası mövcuddur	Ümumi mülki qanunvericilik çərçivəsində tənzimlənir
Dövlət iştirakı	Bütün mərhələlərdə nəzarət, bank zəmanəti, maliyyə şəffaflığı	Sistemləşdirilməmiş, məhdud iştirak
Risk idarəsi	Hüquqi mexanizmlər vasitəsilə məsuliyyət aydın müəyyənləşdirilimişdir	Boşluqlar mövcuddur
Beynəlxalq metodologiyanın tətbiqi	Geniş tətbiq olunur	İnkişaf mərhələsindədir
Şəhərləşmə təzyiqi	Yüksək, icarə tələbi artmışdır	Yüksək, icarə tələbi artmışdır
Vaxt və xərc idarəsi	Əsas problem kimi qalır	Əsas problem kimi qalır

Nəticə.

Aparılan tədqiqat göstərir ki, icarə üçün nəzərdə tutulan daşınmaz əmlak layihələrində inşaat proseslərinin idarə edilməsi hər iki ölkədə vaxt, xərc və risk idarəsinin inteqrasiyalı həyata keçirilməsini tələb edir.

Azərbaycan və İsrail bu sahədə fərqli inkişaf yolları keçmişdir. Lakin hər ikisi oxşar problemlərlə üzləşmişdir. İsrail Pinuy-Binuy mexanizmi və xüsusi qanunvericilik bazası vasitəsilə bu problemləri sistemli şəkildə həll etməyi bacarmışdır.

Azərbaycanda isə icarəyə yönəlik layihələrin idarə edilməsi üçün zəruri olan hüquqi çərçivə və sistemli mexanizmlər hələ tam formalaşmamışdır.

Müqayisəli təhlil göstərir ki, Azərbaycan üçün prioritet istiqamət xüsusi normativ bazanın yaradılması, bank müşayiəti mexanizminin tətbiqi və dövlət-özəl əməkdaşlığı modelinin formalaşdırılmasıdır.

İsrail təcrübəsinin Azərbaycan şəraitinə uyğunlaşdırılması ölkənin daşınmaz əmlak bazarının inkişafına əhəmiyyətli töhfə verə, icarə üçün nəzərdə tutulan layihələrin vaxtında başa çatdırılmasına, büdcə çərçivəsində saxlanılmasına və risklərin minimuma endirilməsinə imkan verə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.

1. Azərbaycan Respublikasının Mülki Məcəlləsi. Bakı, 2000. e-qanun.az
2. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. İnşaat sektoru üzrə statistik məlumatlar. Bakı, 2023. stat.gov.az
3. Azərbaycan Respublikasının Şəhərsalma və Tikinti Məcəlləsi. Bakı, 2012. e-qanun.az
4. Project Management Institute. PMBOK Guide. 7th ed. Pennsylvania: PMI. 2021.
5. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach. New Jersey: Wiley. 2017.
6. AXELOS. Managing Successful Projects with PRINCE2. London: TSO. 2017.
7. State of Israel. Urban Renewal Law (Agreements for Transaction Organization), Jerusalem. 2017.
8. Levy, S. Project Management in Construction. 7th ed. New York: McGraw-Hill. 2018.
9. Peiser, R., Hamilton, D. Professional Real Estate Development. Washington: Urban Land Institute. 2012.
10. Morag, I., Shadar, H. Urban Renewals: Learning from a Country's Recent Experience. *Urban Science*, 7(4) 109. MDPI. 2023.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379259>
УДК 378.147:004.9:656.13

ТАКМИЛИ ТАЪЛИМИ ФАНҲОИ ТЕХНИКИИ СОҲАИ НАҚЛИЁТИ АВТОМОБИЛӢ ДАР ШАРОИТИ РАҚАМИКУНОНИ ВА ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ИНТЕРАКТИВӢ

ҶАЛОЛЗОДА ДИЛШОДҶОН САЙКАБИР

номзади илмҳои техники, омӯзгори кафедраи “Нақлиёти автомобилӣ”-и Донишгоҳи
давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

САИДОВ АБДУМАЛИК РИЗОЕВИЧ

омӯзгори кафедраи нақлиёти автомобилии ДДБ ба номи Носири Хусрав.

***Аннотатсия.** Дар мақолаи мазкур масъалаи такмили таълими фанҳои техникии соҳаи нақлиёти автомобилӣ дар шароити рақамикунонии низоми таҳсилот баррасӣ гардидааст. Муаллифон қўшиш намудаанд, ки на танҳо аҳамияти истифодаи технологияҳои рақамиро нишон диҳанд, балки таъсири воқеии онҳоро ба сифати таълим низ таҳлил намоянд. Дар асоси омӯзиши адабиёти илмӣ, таҷрибаи муассисаҳои таълимӣ ва натиҷаҳои таҷрибаи педагогӣ муайян гардид, ки истифодаи симуляторҳо, моделсозии компютерӣ ва воситаҳои интерактивӣ метавонад ба таври назаррас сатҳи омодагии донишҷӯёнро баланд бардорад.*

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки баъд аз истифодаи технологияҳои рақамӣ сатҳи азхудкунии дониш аз 68% то 85% баланд гардида, малақаҳои амалии донишҷӯён низ ба таври назаррас беҳтар шудаанд. Дар мақола инчунин амсилаи муносири таълим пешниҳод мегардад, ки дар он робитаи байни назария, моделсозӣ ва амалия таъмин карда мешавад.

***Калидвожаҳо:** технологияҳои рақамӣ, таълими техникаӣ, нақлиёти автомобилӣ, симулятор, моделсозӣ, таълими интерактивӣ, самаранокии таълим.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В СФЕРЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ДЖАЛОЛЗОДА ДИЛШОДҶОН САЙКАБИР

кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт»
Бохтарского государственного университета им. Носира Хусрава

САИДОВ АБДУМАЛИК РИЗОЕВИЧ

преподаватель кафедры автомобильного транспорта БГУ имени Носира Хусрава.

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы совершенствования преподавания технических дисциплин в сфере автомобильного транспорта в условиях цифровизации системы образования. Авторы стремились не только показать значимость применения цифровых технологий, но и проанализировать их реальное влияние на качество обучения. На основе анализа научной литературы, международного опыта и результатов педагогического эксперимента установлено, что использование цифровых технологий, компьютерного моделирования, симуляторов и интерактивных средств обучения способствует существенному повышению уровня подготовки обучающихся.*

Результаты исследования показали, что после внедрения интерактивных технологий уровень усвоения знаний повысился с 68% до 85%, а практические навыки студентов значительно улучшились. Кроме того, было установлено, что применение симуляторов способствует развитию аналитического мышления, способности принимать решения и формированию профессиональных компетенций.

В статье также предложена современная модель обучения, основанная на последовательности «теория – моделирование – практика», обеспечивающая логическую связь между теоретическими знаниями и практической деятельностью студентов.

Ключевые слова: цифровые технологии, техническое образование, автомобильный транспорт, симулятор, интерактивное обучение, компьютерное моделирование, эффективность обучения, безопасность дорожного движения.

IMPROVEMENT OF TEACHING TECHNICAL DISCIPLINES IN THE FIELD OF ROAD TRANSPORT UNDER CONDITIONS OF DIGITALIZATION AND THE USE OF INTERACTIVE TECHNOLOGIES

JALOLZODA DILSHOJON SAIKABIR

Candidate of Technical Sciences, Lecturer at the Department of Automotive Transport, Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav

SAIDOV ABDUMALIK RIZOEVICH

Lecturer of the Department of Automobile Transport at Bokhtar State University named after Nosir Khusrav

Annotation. *This article discusses the improvement of teaching technical disciplines in the field of road transport under conditions of educational digitalization. The authors aimed not only to demonstrate the importance of digital technologies in education, but also to analyze their actual impact on the quality of learning. Based on the analysis of scientific literature, international experience, and the results of a pedagogical experiment, it was found that the use of digital technologies, computer modeling, simulators, and interactive teaching tools significantly improves the level of students' professional training.*

The results of the study showed that after the introduction of interactive technologies, the level of knowledge acquisition increased from 68% to 85%, while students' practical skills improved considerably. In addition, the study revealed that the use of simulators contributes to the development of analytical thinking, decision-making abilities, and professional competencies.

The article also proposes a modern educational model based on the sequence "theory – modeling – practice," which ensures a logical connection between theoretical knowledge and practical activities.

Keywords: *digital technologies, technical education, road transport, simulator, interactive learning, computer modeling, learning efficiency, road safety.*

Муқаддима. Имрӯзҳо рушди босуръати технологияҳои рақамӣ қариб ҳамаи соҳаҳои фаро гирифтааст. Соҳаи маориф низ аз ин раванд берун намондааст. Дар шароити муосир дигар танҳо бо усулҳои анъанавии таълим ба натиҷаҳои баланд ноил шудан душвор аст. Хусусан дар самти фанҳои техникӣ, ки фаҳмиши равандҳо, механизмҳо ва вазъиятҳои амалӣ аҳамияти калон доранд, истифодаи технологияҳои рақамӣ ба як зарурат табдил ёфтааст.

Соҳаи нақлиёти автомобилӣ аз ҷумлаи ҷунин самтҳо мебошад. Омодасозии мутахассисони ин соҳа имрӯз на танҳо донишҳои назариявӣ, балки малакаҳои амалии устувор, қобилияти таҳлил ва қабули қарорро талаб мекунад. Таҷриба нишон медиҳад, ки дар бисёр ҳолатҳо донишҷӯён маводи назариявиро аз худ менамоянд, аммо ҳангоми рӯ ба рӯ шудан бо масъалаҳои амалӣ ба мушкилӣ дучор мегарданд. Сабаби асосӣ дар он аст, ки усулҳои анъанавии таълим на ҳамеша имконият медиҳанд, ки донишҷӯ вазъиятро “эҳсос” кунад ва амалан онро таҷриба намояд [1].

Масъалаи мазкур махсусан дар таълими фанҳои вобаста ба бехатарии ҳаракат дар роҳ аҳамияти калон дорад. Тибқи маълумоти Созмони умумиҷаҳонии тандурустӣ, ҳар сол зиёда аз як миллион нафар дар натиҷаи садамаҳои роҳӣ ҷони худро аз даст медиҳанд [2]. Таҳлилҳо

нишон медиҳанд, ки қисми зиёди ин садамаҳо ба омилҳои инсонӣ вобаста мебошанд. Яъне, дониш, малака ва рафтори иштирокчиёни ҳаракат нақши ҳалқунанда мебозанд.

Аз ҳамин сабаб, дар бисёр кишварҳои пешрафта имрӯз ба истифодаи симуляторҳо, технологияҳои интерактивӣ ва моделсозии рақамӣ диққати махсус дода мешавад. Ин технологияҳо имконият медиҳанд, ки донишҷӯён дар муҳити бехатар вазъиятҳои воқеиро таҷриба намоянд, ҳатогҳои худро бубинанд ва тадричан малакаҳои касбии худро тақмил диҳанд [3].

Дар муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистон низ солҳои охир истифодаи технологияҳои рақамӣ тадричан васеъ гардида истодааст. Аммо таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки дар аксари ҳолатҳо ин раванд ҳанӯз ҳам ба таври маҳдуд амалӣ мегардад. Бисёр вақт технологияҳо танҳо барои пешниҳоди презентатсияҳо истифода мешаванд, дар ҳоле ки имкониятҳои воқеии моделсозӣ ва симуляторҳо пурра татбиқ намешаванд.

Аз ҳамин нуқтаи назар, масъалаи таҳқиқи самаранокии истифодаи технологияҳои рақамӣ дар таълими фанҳои техникаи соҳаи нақлиёти автомобилӣ аҳамияти муҳими илмӣ ва амалӣ дорад.

Мақсад ва вазифаҳои тадқиқот. Мақсади асосии тадқиқот муайян намудани таъсири технологияҳои рақамӣ ва воситаҳои интерактивӣ ба сифати таълими фанҳои техникаи соҳаи нақлиёти автомобилӣ мебошад.

Барои расидан ба ин мақсад вазифаҳои зерин муайян карда шуданд:

- таҳлили адабиёти илмӣ ва таҷрибаи байналмилалӣ;
- омӯзиши вазъи кунунии истифодаи технологияҳои рақамӣ дар раванди таълим;
- муайян намудани самаранокии симуляторҳо ва моделсозии компютерӣ;
- таҳлили таъсири технологияҳои интерактивӣ ба дониш ва малакаҳои донишҷӯён;
- пешниҳоди амсилаи муносири таълим.

Методологияи тадқиқот. Тадқиқот дар шароити воқеии раванди таълим гузаронида шуд. Барои муайян намудани самаранокии технологияҳои рақамӣ таҷрибаи педагогӣ ташкил карда шуд, ки дар он 60 нафар донишҷӯ иштирок намуданд.

Донишҷӯён ба ду гурӯҳ ҷудо карда шуданд. Дар гурӯҳи якум дарсҳо бо усулҳои анъанавӣ гузаронида шуданд. Дар гурӯҳи дуюм бошад, дар баробари усулҳои классикӣ аз воситаҳои рақамӣ, моделсозии компютерӣ ва симуляторҳо истифода гардид.

Ҳангоми омӯзиш аз презентатсияҳои мултимедиявӣ, муҳити рақамии AutoCAD, симуляторҳои компютерӣ ва усулҳои интерактивӣ истифода бурда шуд.

Барои арзёбии натиҷаҳо сатҳи азхудкунии дониш, дараҷаи ташаккули малакаҳои амалии донишҷӯён ва фаъолнокии онҳо дар раванди таълим таҳлил карда шуданд.

Қисми асосӣ

Таҳлил нишон дод, ки имрӯз дар бисёр муассисаҳои таълимӣ истифодаи технологияҳои рақамӣ бештар бо презентатсияҳои мултимедиявӣ маҳдуд мегардад. Албатта, чунин воситаҳо барои фаҳмондани маводи назариявӣ мусоидат мекунанд, аммо онҳо на ҳамеша метавонанд малакаҳои амалиро ташаккул диҳанд.

Масалан, вақте ки омӯзгор танҳо тариқи слайдҳо сохтори ягон механизм ё вазъияти роҳро мефаҳмонад, донишҷӯ онро мебинад, вале на ҳамеша метавонад тасаввур кунад, ки он дар шароити воқеӣ чӣ гуна амал мекунанд. Дар чунин ҳолат симуляторҳо ва моделсозии рақамӣ аҳамияти калон пайдо мекунанд.

Таҳқиқот нишон дод, ки истифодаи симуляторҳо ба донишҷӯён имконият медиҳад, ки на танҳо вазъиятро бубинанд, балки дар он фаъолона иштирок намоянд. Онҳо қарор қабул мекунанд, ҳатогҳои худро мебинанд ва кӯшиш мекунанд, ки онҳоро ислоҳ намоянд. Маҳз ҳамин раванд ба ташаккули малакаҳои устувори амалӣ мусоидат мекунанд [4].

Натиҷаҳои таҷрибаи педагогӣ нишон доданд, ки дар гурӯҳе, ки таълим танҳо бо усулҳои анъанавӣ гузаронида шуд, сатҳи миёнаи азхудкунии дониш 68%-ро ташкил дод. Дар гурӯҳе, ки технологияҳои рақамӣ ва симуляторҳо истифода гардиданд, ин нишондиҳанда ба 85% расид.

Ҳамчунин муайян гардид, ки:

- малакаҳои амалии донишҷӯён аз 63% то 80% баланд шуданд;
- фаъолнокии донишҷӯён дар дарсҳо зиёд гардид;
- қобилияти таҳлил ва қабули қарор беҳтар шуд;
- шавқи донишҷӯён ба фанҳои техникаи афзоиш ёфт.

Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки вақте донишҷӯ на танҳо мешунавад, балки мебинад ва амалан иштирок мекунад, раванди азхудкунии дониш самараноктар мегардад.

Таҷриба инчунин нишон дод, ки истифодаи танҳо як воситаи рақамӣ натиҷаи кофӣ намедиҳад. Масалан, презентатсияҳо барои фаҳмондани назария мувофиқанд, аммо барои ташаккули малакаҳои амалии устувор кофӣ нестанд. Аз тарафи дигар, симуляторҳо дар ҳолате самаранок мешаванд, ки донишҷӯ аллакай фаҳмиши назариявии заруриро дошта бошад.

Аз ҳамин сабаб, дар асоси натиҷаҳои таҳқиқот амсилаи муосири таълим пешниҳод мегардад, ки аз се марҳила иборат мебошад:

Марҳилаи 1 - Назария

Дар ин марҳила мавод бо истифода аз воситаҳои визуалӣ ва презентатсияҳои мултимедиявӣ пешниҳод карда мешавад.

Марҳилаи 2 - Моделсозӣ

Бо истифода аз муҳити рақамии AutoCAD донишҷӯён сохтор ва принсипи кори системаҳои техникаро таҳлил менамоянд.

Марҳилаи 3 - Амалия

Тавассути симуляторҳо ва тренажёрҳои компютерӣ донишҷӯён донишҳои худро дар амал татбиқ намуда, малакаҳои касбиро ташаккул медиҳанд.

Ин пайдарпай имкон медиҳад, ки донишҷӯ аввал маводро фаҳмад, баъд онро бубинад ва дар охир амалан татбиқ намояд.

Муҳокима. Таҳлили таҷрибаи кишварҳои пешрафта нишон медиҳад, ки имрӯз дар низомҳои муосири таълим диққати асосӣ ба фаъолияти амалии донишҷӯён равона карда мешавад. Масалан, дар Олмон ва Иёлоти Муттаҳидаи Амрико истифодаи симуляторҳо ва моделсозии рақамӣ яке аз унсурҳои асосии омодагии мутахассисон ба ҳисоб меравад [5].

Дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон низ барои истифодаи чунин технологияҳо имконият мавҷуд аст. Аммо барои татбиқи васеи онҳо як қатор масъалаҳо бояд ҳал карда шаванд:

- муосиргардонии базаи моддӣ-техникӣ;
- таъмин намудани муассисаҳо бо симуляторҳо;
- баланд бардоштани сатҳи саводнокии рақамии омӯзгорон;
- таҳияи методикаҳои муосири таълим.

Бо вучуди ин, натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки ҳатто истифодаи қисман технологияҳои рақамӣ метавонад ба таври назаррас сифати таълимро беҳтар намояд.

Хулоса. Дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда метавон гуфт, ки технологияҳои рақамӣ имрӯз ба яке аз омилҳои муҳими тақмили таълими фанҳои техникаи соҳаи нақлиёти автомобилӣ табдил ёфтаанд.

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки истифодаи симуляторҳо, моделсозии компютерӣ ва усулҳои интерактивӣ:

- сатҳи азхудкунии донишро баланд мебардорад;
- малакаҳои амалии донишҷӯёнро ташаккул медиҳад;
- қобилияти таҳлил ва қабули қарорро беҳтар менамояд;
- шавқи донишҷӯёнро ба омӯзиш зиёд мекунад.

Дар маҷмӯъ, метавон гуфт, ки ҳамгироии технологияҳои рақамӣ бо усулҳои анъанавии таълим роҳи самараноктарини баланд бардоштани сифати омодагии мутахассисони соҳаи нақлиёти автомобилӣ мебошад.

АДАБИЁТ

1. Полат Е.С., Бухаркина М.Ю., Моисеева М.В. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. - Москва: Академия, 2002. - 272 с.
2. Созмони умумиҷаҳонии тандурустӣ. Global Status Report on Road Safety 2023. - Geneva: WHO, 2023. - 180 p.
3. OECD. Road Safety Annual Report 2022. - Paris: OECD Publishing, 2022. - 140 p.
4. Белякова А.В., Савельев Б.В. Анализ информационных моделей тренажеров для обучения водителей транспортных средств // Вестник СибАДИ. - 2019. - Т.16. - №5. - С. 558-571.
5. World Bank. Road Safety Management Capacity Reviews. - Washington: World Bank, 2020.
6. Троицкая Е.А., Артюшина Л.А. Информационные технологии в учебном процессе. - Владимир: ВлГУ, 2020. - 166 с.
7. Мазанова С.Б. Применение информационных технологий в преподавании технических дисциплин // Colloquium-journal. - 2020. - №11(63).
8. Mayer R.E. Multimedia Learning. - 2nd ed. - New York: Cambridge University Press, 2009. - 304 p.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379297>
УДК 551.521.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА

АБДРАХМАНОВ ЕРКЕШ АБДРАХМАНОВИЧ

АІТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан

КАСЫМКАН АЙЖАН АБДИБЕКОВНА

Магистрант АІТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены особенности эксплуатации различных типов солнечных панелей в природно-климатических условиях Казахстана. Выполнен сравнительный анализ эффективности монокристаллических, поликристаллических, аморфных и тонкоплёночных солнечных модулей в регионах с резко континентальным климатом. В качестве примеров приведены действующие солнечные электростанции Казахстана, функционирующие в южных, центральных и северных областях страны. Исследованы факторы, влияющие на производительность фотоэлектрических систем: температура окружающей среды, запылённость, снеговой покров, облачность и сезонные колебания солнечной радиации. На основе проведённого анализа определены наиболее эффективные типы солнечных панелей для эксплуатации в различных регионах Республики Казахстан.*

***Ключевые слова:** солнечная энергетика, фотоэлектрический модуль, солнечная панель, резко континентальный климат, эффективность, солнечная электростанция, Казахстан.*

Развитие возобновляемой энергетики является одним из приоритетных направлений энергетической политики Республики Казахстан. Благодаря значительному количеству солнечных дней в году и высоким показателям солнечной инсоляции страна обладает благоприятными условиями для развития солнечной энергетики. В среднем продолжительность солнечного сияния в Казахстане составляет от 2200 до 3000 часов в год, а уровень солнечной радиации достигает 1300–1800 кВт·ч/м² ежегодно.

История преобразования солнечной энергии в электрическую начинается с открытия фотоэлектрического эффекта французским физиком Александром Эдмоном Беккерелем в XIX веке. Однако практическое применение солнечных элементов стало возможным лишь в середине XX века, когда специалисты компании Bell Laboratories создали первые кремниевые солнечные элементы. В настоящее время солнечная энергетика активно развивается во всём мире, а установленная мощность солнечных электростанций ежегодно увеличивается [1].

На сегодняшний день в Казахстане функционирует ряд крупных солнечных электростанций, расположенных в различных климатических зонах страны. Среди них можно выделить СЭС «Бурное» в Жамбылской области, СЭС «Сарань» в Карагандинской области, СЭС «Капшагай» в Алматинской области, а также солнечные станции в Туркестанской, Кызылординской и Мангистауской областях. Эксплуатация солнечных электростанций в различных регионах позволяет оценить эффективность применения разных типов фотоэлектрических модулей в условиях резко континентального климата [2].

Типы солнечных панелей и их характеристики

В современной солнечной энергетике применяются различные виды фотоэлектрических преобразователей:

- монокристаллические;

- поликристаллические;
- аморфные;
- тонкоплёночные на основе технологии CIGS.

Монокристаллические панели. Монокристаллические солнечные панели производятся из высокоочищенного кремния и отличаются высоким коэффициентом полезного действия. КПД современных монокристаллических модулей достигает 22–25%. Такие панели эффективно работают даже при рассеянном солнечном свете и имеют длительный срок службы [1].

Основным преимуществом монокристаллических модулей является высокая производительность при ограниченной площади установки. Это особенно важно для городских объектов и автономных энергетических систем. Однако их недостатком остаётся высокая стоимость производства и чувствительность к загрязнению поверхности.

Поликристаллические панели. Поликристаллические солнечные элементы производятся из переработанного кремния и имеют более простую технологию изготовления. Их КПД обычно составляет 15–18%. Несмотря на более низкую эффективность по сравнению с монокристаллическими модулями, поликристаллические панели отличаются доступной стоимостью и устойчивой работой при переменной облачности [2].

В климатических условиях Казахстана поликристаллические панели часто применяются в бытовых и малых автономных системах электроснабжения.

Тонкоплёночные панели CIGS. Тонкоплёночные солнечные панели на основе соединений меди, индия, галлия и селена (CIGS) отличаются гибкостью конструкции и сравнительно высокой эффективностью. КПД таких модулей достигает 15–20%.

Преимуществом CIGS-панелей является их стабильная работа при высоких температурах и низкой освещённости. Это делает их перспективными для эксплуатации в южных регионах Казахстана, где летом температура воздуха может превышать +40 °С.

Аморфные панели. Аморфные солнечные панели производятся на основе аморфного кремния. Их конструкция позволяет эффективно поглощать рассеянный солнечный свет, что особенно важно в регионах с продолжительным зимним периодом и высокой облачностью.

Главными преимуществами аморфных модулей являются устойчивость к перепадам температуры и способность работать при слабой освещённости. Однако их КПД ниже по сравнению с монокристаллическими панелями [2].

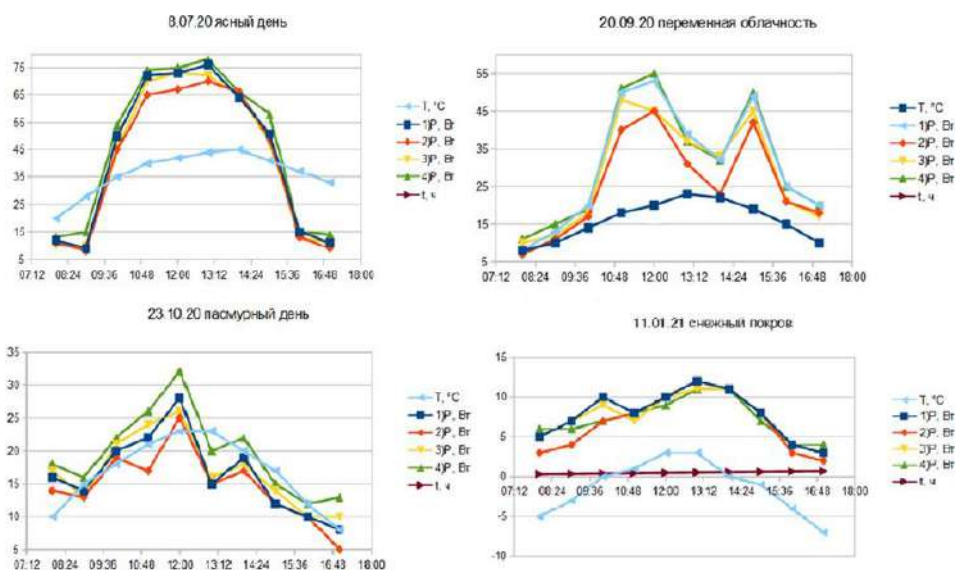


Рисунок 1. Среднечасовая выработка электроэнергии в зависимости от времени, погодных условий и сезонов года. Цифрами обозначены типы панелей в соответствии с описанием выше

Особенности эксплуатации солнечных панелей в Казахстане

Климат Казахстана характеризуется значительными сезонными и суточными колебаниями температуры. В северных регионах зимой температура может снижаться до $-35\dots-40$ °С, а летом в южных областях подниматься до $+40\dots+45$ °С.

Для большинства регионов страны характерны:

- низкая влажность воздуха;
- большое количество солнечных дней;
- высокая запылённость воздуха;
- резкие перепады температуры;
- наличие снегового покрова зимой.

Эти факторы оказывают существенное влияние на работу солнечных панелей.

При повышении температуры фотоэлектрического элемента его эффективность снижается. В среднем при увеличении температуры на 1 °С производительность солнечной панели уменьшается на 0,4–0,5%. Поэтому в жарких регионах Казахстана снижение эффективности модулей летом становится одной из основных проблем.

Для северных и центральных регионов Казахстана дополнительным фактором является снеговой покров. Накопление снега и наледи на поверхности панелей приводит к снижению выработки электроэнергии и требует регулярной очистки оборудования.

В южных и западных областях Казахстана серьёзное влияние оказывает запылённость воздуха. Оседание пыли на поверхности солнечных модулей уменьшает количество поглощаемого солнечного излучения и снижает выходную мощность системы[2].

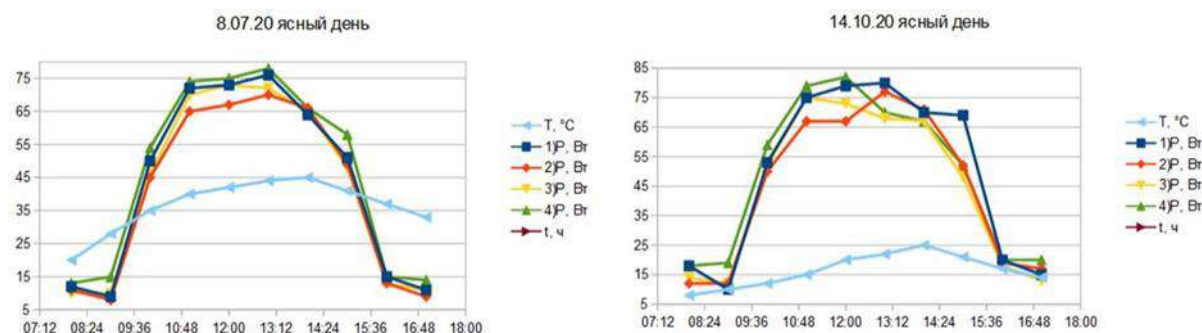


Рисунок 2. Зависимость параметров показателей мощностей разных типов солнечных панелей от температуры в ясные дни 8.07.20 и 14.10.20. Цифрами обозначены типы панелей в соответствии с описанием выше

Солнечные электростанции Казахстана

Развитие солнечной энергетики в Казахстане сопровождается строительством крупных солнечных электростанций.

СЭС «Бурное» Солнечная электростанция «Бурное», расположенная в Жамбылской области, является одной из крупнейших СЭС страны. Регион характеризуется высокой солнечной активностью и продолжительным тёплым периодом.

СЭС «Сарань» СЭС «Сарань» в Карагандинской области функционирует в условиях резко континентального климата с холодной зимой и жарким летом. Эксплуатация станции показывает высокую эффективность использования современных фотоэлектрических модулей в центральных регионах Казахстана.

СЭС «Капшагай» СЭС в районе Капшагай расположена в Алматинской области и работает в условиях высокой солнечной радиации. Благодаря большому количеству

солнечных дней станция демонстрирует стабильную выработку электроэнергии в течение года[3].

Методика исследования Целью исследования являлось определение наиболее эффективного типа солнечных панелей для эксплуатации в климатических условиях Казахстана.

Для анализа были выбраны четыре типа солнечных модулей:

1. монокристаллические;
2. поликристаллические;
3. аморфные;
4. тонкоплёночные CIGS.

Все исследуемые панели имели одинаковые технические характеристики:

- площадь панели — 0,71 м²;
- номинальная мощность — 100 Вт.

Исследования проводились с июля по январь в условиях южного и центрального Казахстана. В процессе анализа учитывались следующие факторы:

- температура окружающей среды;
- облачность;
- уровень солнечной радиации;
- наличие пыли и загрязнений;
- снеговой покров;
- сезонные изменения погодных условий.

Измерения проводились ежедневно с 08:00 до 17:00.

Результаты исследования

Результаты исследования показали, что в ясную солнечную погоду наибольшую эффективность демонстрировали монокристаллические панели. Благодаря высокому КПД они обеспечивали максимальную выработку электроэнергии[4].

В условиях переменной облачности хорошие результаты показали монокристаллические и аморфные модули. Аморфные панели эффективно работали при рассеянном солнечном свете и сохраняли стабильные показатели мощности.

В пасмурную погоду наиболее устойчивыми оказались аморфные панели, тогда как поликристаллические модули показали минимальные значения выработки.

В зимний период при наличии снегового покрова высокую эффективность сохраняли монокристаллические и тонкоплёночные CIGS-панели[6].

Анализ температурного режима показал, что при понижении температуры и ясной погоде солнечные панели вырабатывают больше электроэнергии по сравнению с жаркими летними днями. Это связано с уменьшением нагрева фотоэлементов.

Влияние загрязнения поверхности панелей Одним из факторов, существенно влияющих на эффективность солнечных модулей в Казахстане, является запылённость воздуха. В регионах с сухим климатом и частыми ветрами на поверхности панелей быстро накапливается пыль. Это приводит к снижению производительности фотоэлектрических систем[3].

Таблица 1. Измерение параметров солнечной батареи до и после их отчистки поверхности от пыли

До очистки					После очистки				
Дата	t, ч	U, В	I, А	Pmax, Вт	t, ч	U, В	I, А	Pmax, Вт	Увеличение мощности, %
18.11.16	10.30	20.10	3.43	55.15	10.35	20.15	3.53	56.90	3.2
28.11.16	10.30	20.60	3.60	59.33	10.35	20.70	3.76	62.27	5

20.12.16	10.30	19.70	0.19	2.99	10.35	19.82	0.27	4.28	43
----------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	------	----

Исследования показывают, что после очистки поверхности солнечных модулей мощность выработки может увеличиваться на 3–40% в зависимости от степени загрязнения[5].

Поэтому при проектировании солнечных электростанций в Казахстане необходимо предусматривать:

- системы автоматической очистки;
- регулярное техническое обслуживание;
- оптимальный угол установки панелей;
- защиту от пыли и снеговых нагрузок.

Заключение

На основании проведённого анализа можно сделать вывод, что наиболее эффективными для эксплуатации в условиях резко континентального климата Казахстана являются монокристаллические и аморфные солнечные панели.

Монокристаллические модули обеспечивают максимальную производительность в ясную погоду и отличаются высоким коэффициентом полезного действия. Однако их недостатками являются высокая стоимость и чувствительность к загрязнениям.

Аморфные панели демонстрируют устойчивую работу при слабой освещённости и в пасмурную погоду, что делает их перспективными для северных регионов Казахстана.

Тонкоплёночные CIGS-модули также показали хорошие результаты благодаря стабильной работе при высоких температурах. Поликристаллические панели обладают более низкой эффективностью, однако остаются востребованными из-за сравнительно невысокой стоимости.

С учётом климатических особенностей Казахстана развитие солнечной энергетики является перспективным направлением повышения энергетической безопасности страны и расширения использования возобновляемых источников энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ирха В. А., Чеботарев С. Н., Пащенко А. С. Региональный опыт инсталляции и эксплуатации индивидуальной солнечной энергоустановки в условиях юга России. — Renewable Energy Forum, 2013.
2. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкоплёночные солнечные элементы на основе кремния. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
3. Андреев В. М., Грилихес В. А., Румянцев В. Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. — Л.: Наука, 1989.
4. Материалы по развитию возобновляемой энергетики Республики Казахстан.
5. Юмаев Н. Р., Юсуфбеков Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации // Технические науки: традиции и инновации. — Казань, 2018.
6. Междунар. науч. конф. (г. Казань, март 2018 г.). — Казань: Молодой ученый, 2018. — С. 52-57. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/287/13663/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20379338>

THEORY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT

JAVID BAKHSHALIYEV

PhD student, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

GASIM MAMMADOV

Candidate of Technical Sciences, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

Abstract. *In recent decades, significant attention has been devoted to the theory and practical application of heat transfer enhancement technologies due to the increasing industrial demand for compact, energy-efficient, and economically sustainable heat exchange systems. The reduction of material consumption, operational costs, and environmental impact has accelerated the development of advanced heat transfer enhancement methods. This article examines the theoretical foundations of heat transfer enhancement and analyses the operational principles, classification, and industrial applications of enhanced heat transfer surfaces. The study investigates passive and active enhancement techniques, intensified surface geometries, twisted tape inserts, plate heat exchangers, mini-channel systems, and modern hybrid enhancement technologies. Furthermore, the article evaluates the thermal-hydraulic performance characteristics of enhanced heat transfer systems and analyses their influence on energy efficiency, compactness, pressure loss, and fouling reduction. The findings demonstrate that intensified heat transfer technologies significantly improve thermal performance, reduce equipment dimensions, increase energy recovery, and contribute to environmental sustainability through lower energy consumption and reduced CO₂ emissions.*

Keywords: *heat transfer enhancement, intensified heat transfer surfaces, plate heat exchangers, mini-channels, thermal efficiency, energy recovery, passive enhancement methods, heat exchangers.*

ТЕОРИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

ДЖАВИД БАХШАЛИЕВ

Докторант, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и
Промышленности, Баку, Азербайджан

ГАСЫМ МАМЕДОВ

Кандидат технических наук, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и
Промышленности, Баку, Азербайджан

Аннотация. *В последние десятилетия значительное внимание уделяется теории и практическому применению технологий интенсификации теплообмена вследствие растущего промышленного спроса на компактные, энергоэффективные и экономически устойчивые теплообменные системы. Снижение расхода материалов, эксплуатационных затрат и негативного воздействия на окружающую среду ускорило развитие современных методов интенсификации теплообмена. В данной статье рассматриваются теоретические основы интенсификации теплообмена, а также анализируются принципы работы, классификация и промышленные области применения интенсифицированных теплообменных поверхностей. В исследовании изучаются пассивные и активные методы интенсификации, геометрия интенсифицированных поверхностей, ленточные турбулизаторы, пластинчатые теплообменники, миниканальные системы и современные гибридные технологии интенсификации теплообмена. Кроме того, в статье оцениваются теплогидравлические характеристики интенсифицированных систем теплообмена и*

анализируется их влияние на энергоэффективность, компактность, потери давления и снижение загрязнения поверхностей. Полученные результаты показывают, что технологии интенсификации теплообмена значительно улучшают теплотехнические характеристики, уменьшают размеры оборудования, повышают степень рекуперации энергии и способствуют экологической устойчивости за счёт снижения энергопотребления и уменьшения выбросов CO₂.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, интенсифицированные теплообменные поверхности, пластинчатые теплообменники, миниканалы, тепловая эффективность, рекуперация энергии, пассивные методы интенсификации, теплообменники.

Introduction

In recent years, considerable scientific and industrial interest has emerged in the field of heat transfer enhancement. The principal reason for this growing attention is the increasing demand for heat exchange equipment that is more compact, economically efficient, and operationally effective. The necessity to reduce material consumption and energy expenditure has created strong motivation for the development of advanced heat transfer enhancement techniques.

Additional motivation arises from global energy challenges and environmental sustainability concerns. As noted by Reay (2008), “between 1900 and 1955, the average global energy consumption increased from approximately 1 TW to 2 TW. Between 1955 and 1999, energy consumption rose from 2 TW to nearly 12 TW, and by 2006 an additional 16 % increase in global primary energy usage had been recorded” [8, p.2015].

Many countries have introduced legislative frameworks and energy-saving targets to reduce overall energy consumption. Furthermore, governments increasingly implement policies aimed at reducing environmental impact and improving energy efficiency. According to Gough (2012), the nuclear disaster in Japan encouraged the Japanese government to adopt more active policies directed toward energy conservation [4]. In recent years, other countries have also adopted similar approaches, thereby increasing the importance of heat transfer enhancement technologies.

Reay (2008) further emphasized that “more than a 50 % reduction in CO₂ emissions is necessary to stabilize the impact of global warming. One of the methods of achieving this objective is the targeted application of process intensification technologies” [8, p.2016]. Process Intensification promises novel solutions to current challenges in the chemical process industry, leading to a rapid growth in interest [9]. This approach is generally characterized by substantial reductions in equipment volume and may significantly contribute to lowering greenhouse gas emissions.

The compactness and low weight of heat exchangers are especially important in transportation and aerospace industries. Moreover, heat transfer enhancement technologies possess extensive applications in power generation, chemical engineering, oil and gas processing, and industrial thermal systems. These requirements have led to the development of enhanced heat transfer surfaces.

In general, intensified heat transfer surfaces may be applied for several purposes: reducing the overall dimensions of heat exchangers, decreasing pumping power consumption, increasing the overall UA parameter of heat exchangers (where U represents the overall heat transfer coefficient and A represents the heat transfer surface area), and lowering initial manufacturing costs [7]. Higher UA values increase thermal exchange intensity under constant inlet temperatures or reduce the mean temperature difference within the heat exchanger, thereby improving thermodynamic efficiency and reducing operational costs.

1. Classification of Heat Transfer Enhancement Methods

Heat transfer enhancement methods are generally classified into two principal categories: passive methods and active methods.

Passive enhancement techniques do not require the direct application of external energy sources. These methods intensify heat transfer through the use of special surface geometries or additives introduced into the working fluid. Active methods, by contrast, require external energy input in order to operate.

Most industrially applied enhancement techniques belong to the passive category because active methods are generally more expensive and involve operational complexities. Passive enhancement methods increase heat transfer primarily through higher hA values, where h denotes the heat transfer coefficient and A denotes the heat transfer area [2].

Passive enhancement techniques may be implemented through several mechanisms:

1. Increasing the effective heat transfer area without significantly altering the heat transfer coefficient;
2. Increasing the heat transfer coefficient without substantially enlarging the surface area. This is mainly achieved through intensified heat transfer surfaces generating secondary flows and boundary layer separation within channels;
3. Simultaneously increasing both the heat transfer coefficient and the heat transfer area through complex intensified surface geometries.

Kukulka et al. (2013) investigated these enhancement mechanisms in detail [6].

2. Intensified Heat Transfer Surfaces

One important example of intensified heat transfer technology involves externally enhanced microfines tubes.

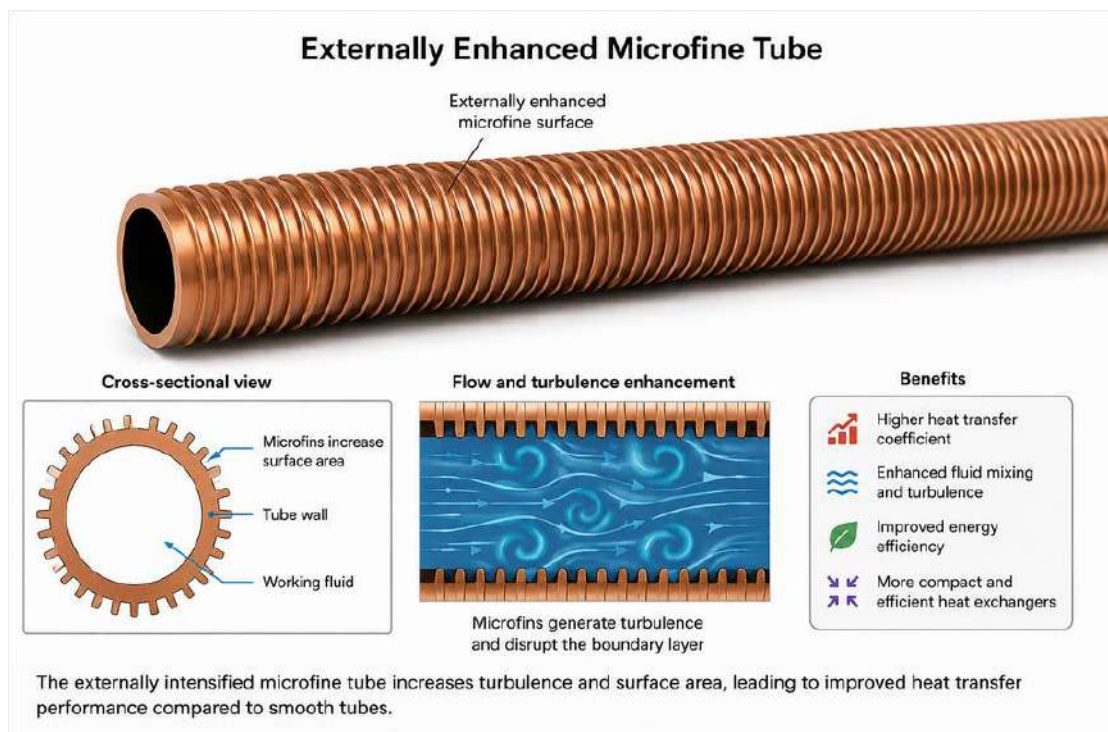


Figure 1: Externally Enhanced Microfine Tube for Heat Transfer Intensification
Source: Author's own.

Enhanced microfines tubes are widely used in modern thermal engineering systems to improve heat transfer efficiency and reduce the overall size of heat exchangers. The modified external surface geometry increases turbulence, disrupts the thermal boundary layer, and enlarges the effective heat transfer area. These characteristics significantly improve thermal performance while contributing to higher energy efficiency and compact system design (Figure 1).

The externally intensified microfine tube illustrated in Figure 1 demonstrates enhanced thermal performance through modified surface geometry. The intensified surface increases turbulence and promotes improved thermal interaction between the working fluid and the heat transfer surface.

Twisted tape inserts are among the most widely applied passive heat transfer enhancement techniques in tubular heat exchangers. These inserts generate secondary flow, increase fluid turbulence, and improve mixing between the core flow and the near-wall region. As a result, the thermal boundary layer is disrupted, leading to significantly improved heat transfer performance. Intensified or textured twisted tape surfaces further enhance vortex generation and thermal efficiency compared with conventional smooth inserts (Figure 2).

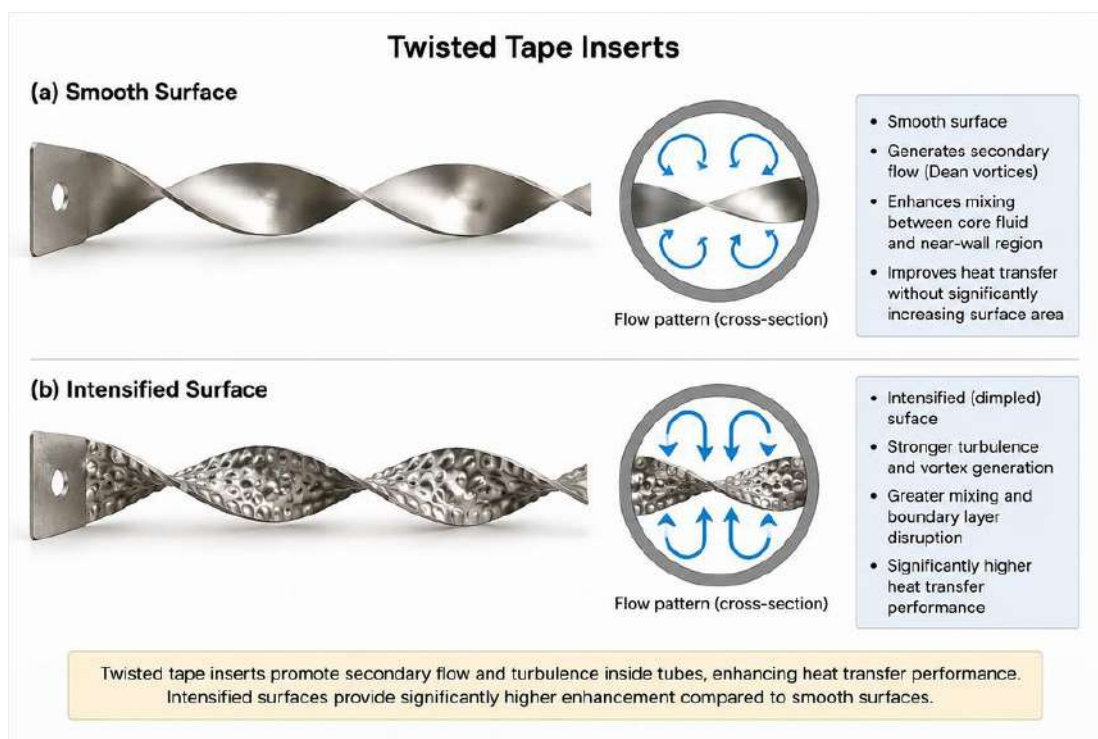


Figure 2: Twisted Tape Inserts for Heat Transfer Enhancement

Comparison of twisted tape inserts with (a) smooth surface and (b) intensified surface configurations, illustrating their flow structures, turbulence generation mechanisms, and influence on heat transfer enhancement inside tubular systems.

Source: Author's own.

Twisted tape inserts represent another widely applied passive heat transfer enhancement technique. The generated vortices improve mixing between the core flow region and the fluid near the wall surface, thereby significantly increasing heat transfer performance without major increases in surface area.

The Vipertex 1EHT intensified heat transfer tube represents a modern hybrid enhancement structure developed through geometrical modification of the tube surface. The surface consists of large dimples and small petal-shaped protrusions, which improve both internal and external heat transfer coefficients.

Unlike classical integral roughness tubes or internally ribbed tubes, the 1EHT structure behaves as a hybrid intensified surface because it simultaneously increases surface area and promotes flow separation. Heat transfer intensification within the 1EHT tube results from combined mechanisms including increased turbulence, boundary layer disruption, secondary flow generation, enlarged heat transfer surface area, and multiple nucleation sites.

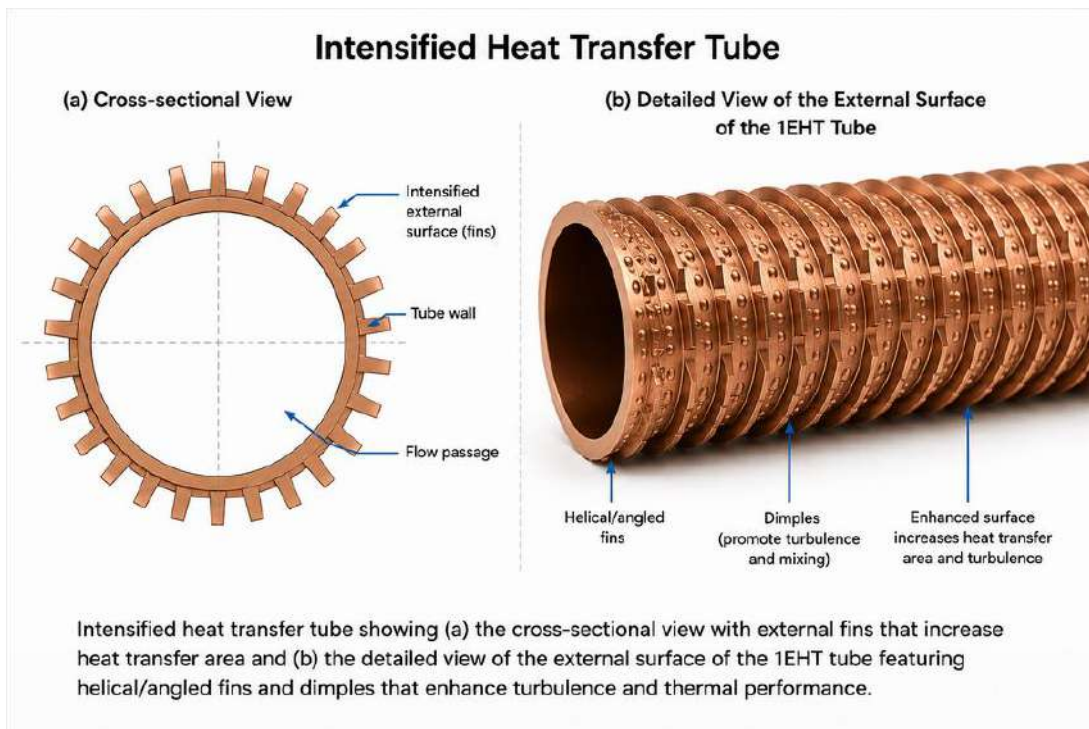


Figure 3: Intensified Heat Transfer Tube
Source: Author's own.

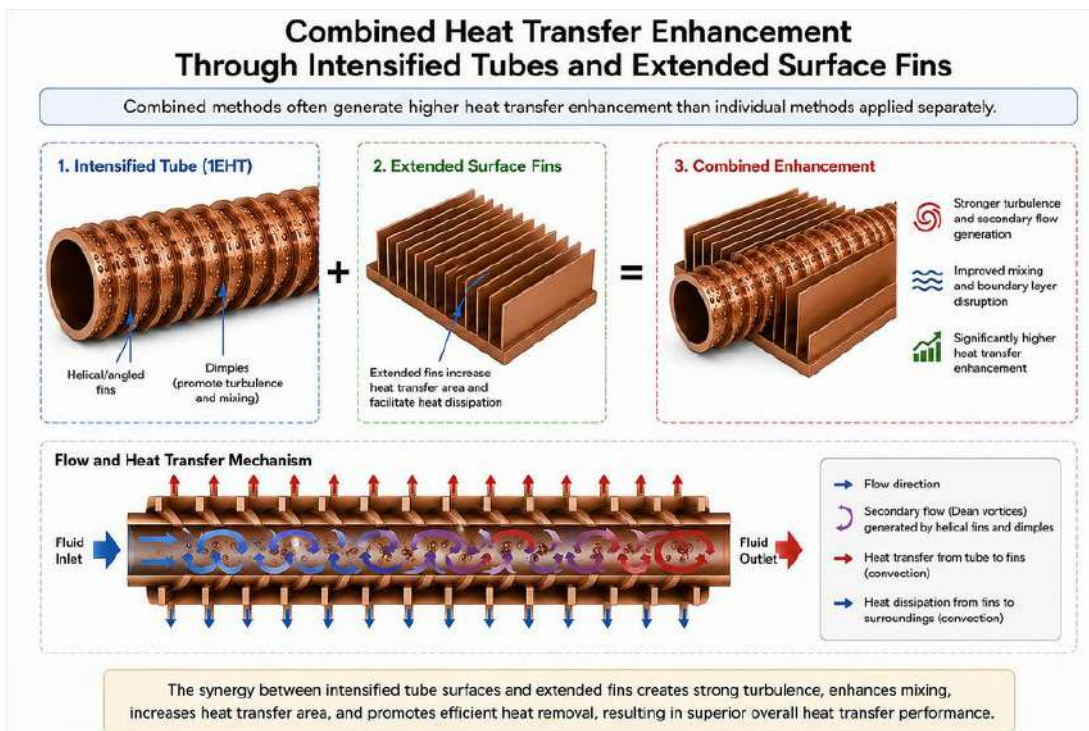


Figure 4: Combined Heat Transfer Enhancement Through Intensified Tubes and Extended Surface Fins
Source: Author's own.

Modern intensified heat transfer tubes are designed to improve thermal efficiency through advanced surface geometries that simultaneously increase heat transfer area and promote turbulence

generation. Hybrid enhancement structures such as the 1EHT tube combine external fins, dimples, and helical surface modifications to disrupt the thermal boundary layer, generate secondary flows, and intensify fluid mixing. These characteristics significantly improve heat transfer performance under both laminar and turbulent flow conditions while maintaining compact heat exchanger design (Figure 3).

Combined heat transfer enhancement methods integrate multiple passive enhancement techniques in order to achieve superior thermal performance compared with individual methods applied separately. The simultaneous application of intensified tube geometries and extended surface fins increases effective heat transfer area, strengthens turbulence generation, promotes secondary flow formation, and improves fluid mixing within the thermal boundary layer. These synergistic mechanisms significantly enhance convective heat transfer and energy dissipation efficiency in compact heat exchanger systems (Figure 4).

Industrial thermal applications require careful evaluation of intensified surface geometries based on both heat transfer enhancement and pressure drop characteristics. In some situations, the benefits obtained through improved heat transfer do not compensate for the increased frictional losses. Consequently, the primary engineering objective consists of maximizing heat transfer enhancement while minimizing pumping power consumption.

Combined enhancement techniques also represent promising approaches. Examples include intensified tubes used together with twisted tape inserts, ribbed rough channels combined with longitudinal vortex generators, and enhanced ribbed tubes.

Combined methods often generate higher heat transfer enhancement than individual methods applied separately.

3. Plate Heat Exchangers and Compact Systems

New perspectives in heat transfer enhancement emerged through the transition from traditional tubular surfaces toward intensified thin metal plate surfaces. The combination of these surfaces led to the development of Plate Heat Exchangers (PHEs). Their operational principles, structural characteristics, and design methods have been extensively described in the literature by Wang et al. (2007) [10].

Within PHE systems, channels are formed through corrugated thin metal plates.

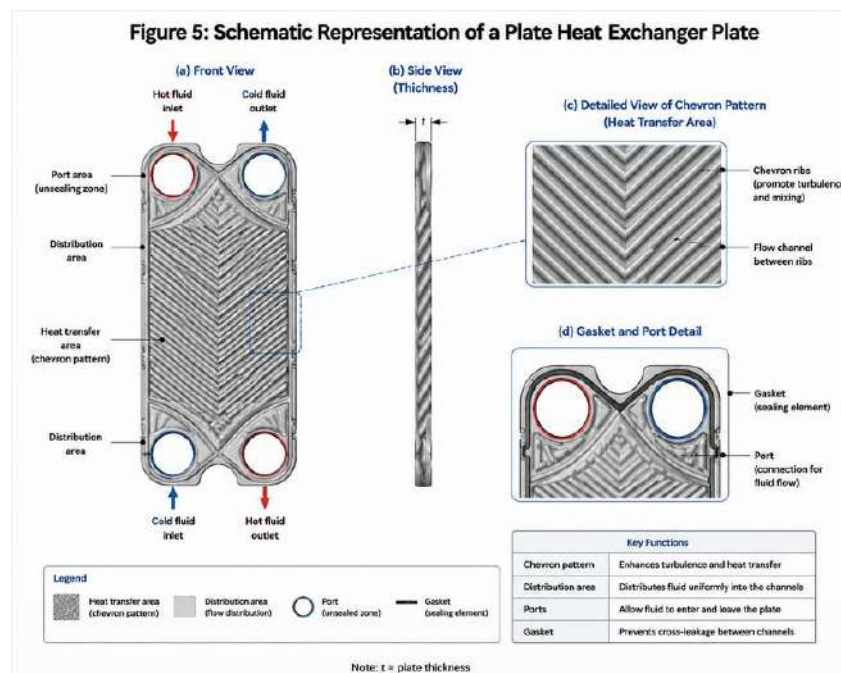


Figure 5: Schematic Representation of a Plate Heat Exchanger Plate

Source: Author’s own.

Plate heat exchangers (PHEs) are among the most efficient compact heat transfer systems used in modern thermal engineering applications. Their operational effectiveness is achieved through corrugated plate geometries that generate strong turbulence, improve fluid mixing, and increase effective heat transfer area even under relatively low Reynolds number conditions. Chevron-patterned plates, optimized flow channels, and gasket sealing systems enable high thermal efficiency, compactness, and reliable separation of hot and cold fluid streams (Figure 5).

Adjacent plates contain multiple contact points that provide high structural rigidity and allow the exchanger to withstand substantial pressure differences between thermal flows.

The channels between plates possess complex geometrical structures generating strong turbulence even at relatively low Reynolds numbers. Consequently, intense mixing may occur even when Reynolds numbers remain below 200.

Corrugation geometry plays a fundamental role in determining the thermal-hydraulic performance of plate heat exchangers. Different corrugation forms are designed to optimize turbulence generation, fluid distribution, pressure drop characteristics, and heat transfer efficiency under specific operating conditions. Chevron, parallel, wavy, dimpled, offset-strip, and mixed corrugation patterns each produce distinct flow structures and secondary vortex formations that influence thermal performance and fouling resistance. The selection of an appropriate corrugation configuration depends on the required balance between heat transfer enhancement, pumping power consumption, compactness, and operational reliability within industrial heat exchange systems (Figure 6).

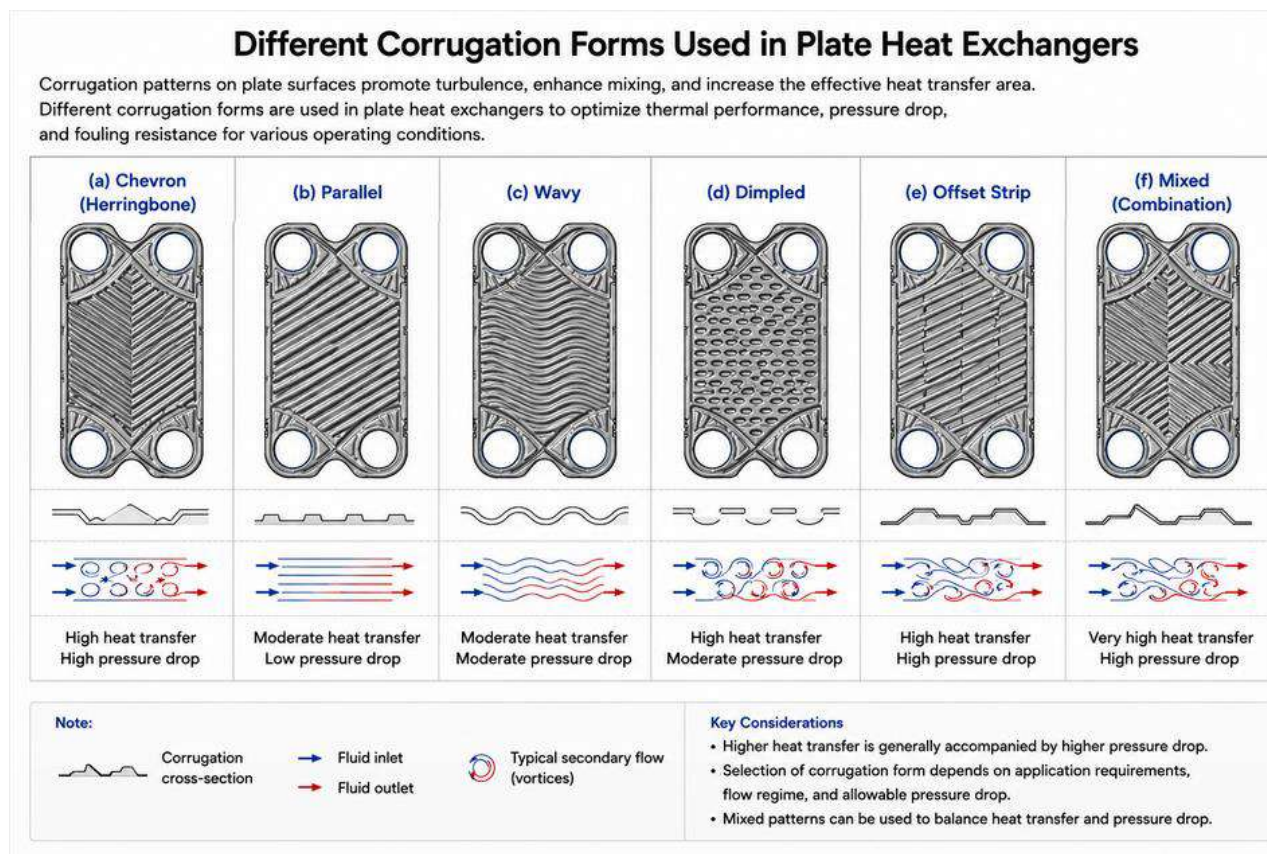


Figure 6: Different Corrugation Forms Used in Plate Heat Exchangers
Source: Author’s own.

The thermal-hydraulic characteristics of PHE systems depend largely on corrugation geometry and particularly on the corrugation angle (β angle). Hydraulic diameters may be as small

as approximately 3 mm, allowing extremely compact exchanger configurations with high thermal performance.

4. Mini-channel and Microchannel Heat Exchangers

Reducing hydraulic diameter within mini-channel and microchannel heat exchangers significantly improves compactness and thermal performance. According to Kandlikar et al. (2014), this effect remains clearly observable even under laminar flow conditions [5].

One example is the Printed Circuit Heat Exchanger (PCHE).

Printed Circuit Heat Exchangers (PCHEs) represent one of the most advanced compact heat exchanger technologies used in high-pressure and high-temperature industrial applications. Their exceptional thermal performance and structural integrity are achieved through precision microchannel fabrication and diffusion bonding manufacturing techniques. The PCHE production process involves chemical etching of microchannels into thin metal plates, accurate stacking and alignment of etched plates, and solid-state diffusion bonding under controlled temperature and pressure conditions. This manufacturing approach produces highly compact, leak-tight, and mechanically robust heat exchanger structures capable of operating under extreme thermal and pressure environments while maintaining superior heat transfer efficiency.

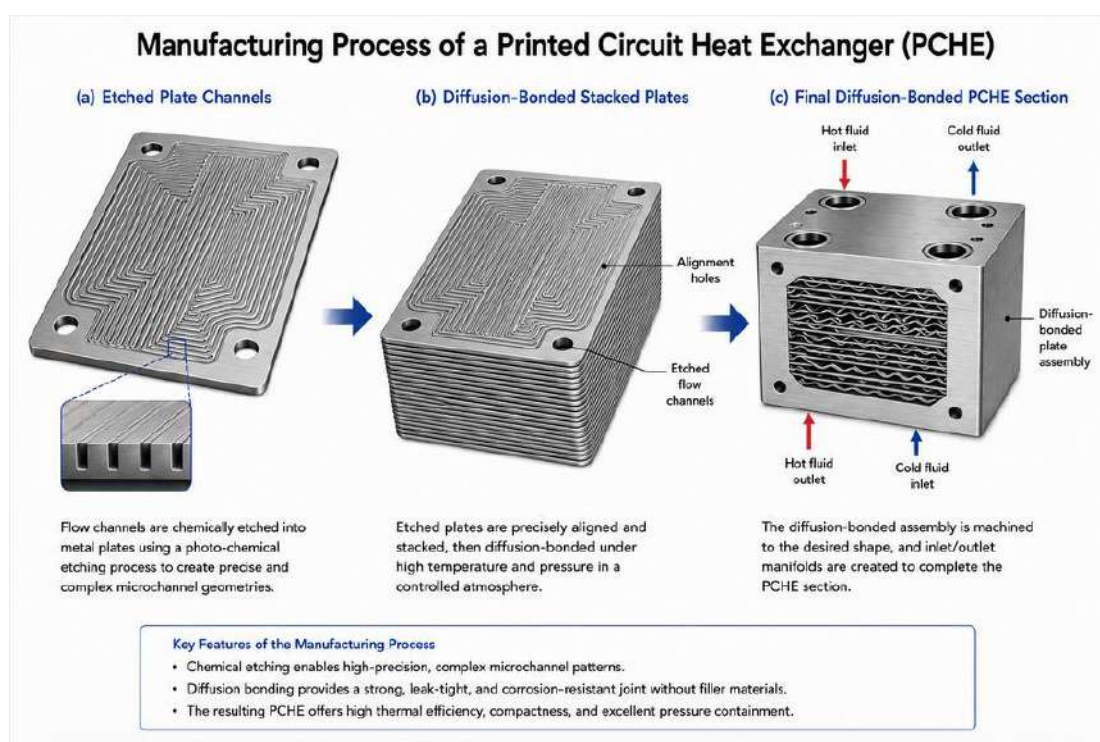


Figure 7: Manufacturing Process of a Printed Circuit Heat Exchanger (PCHE)

Source: Author's own.

The PCHE shown in Figure 7 contains mini-channels with hydraulic diameters smaller than 1 mm. These systems are manufactured using diffusion bonding techniques and demonstrate exceptional compactness and thermal efficiency.

5. Thermal Performance and Industrial Applications

Enhanced heat transfer surfaces represent important alternatives in the design of high-performance thermal systems. These technologies may be applied under diverse operational conditions.

For example, the externally enhanced microfine tube shown in Figure 2.1 demonstrated significant thermal advantages compared with smooth tubes during evaporation of refrigerant R410A. Under mass flux densities between 10–15 kg·m⁻²·s⁻¹, the enhancement ratio of the external evaporation heat transfer coefficient reached approximately 2.2 relative to smooth tubes.

The Vipertex 1EHT intensified tube also demonstrated exceptional thermal performance under traditional laminar flow conditions ($Re \leq 2200$) during single-phase internal cooling. According to Kukulka et al. (2013), at Reynolds numbers near 900 the heat transfer intensity exceeded that of smooth tubes by more than five times [6].

Although the precise physical mechanisms responsible for this extraordinary thermal behaviour remain incompletely understood, experimental studies confirmed the reproducibility of the obtained results for specific working fluids, tube geometries, and flow conditions. At higher flow velocities, internal cooling heat transfer remained approximately twice as high as that of smooth tubes.

The enhancement mechanism within PHE channels differs substantially from that observed in tubular systems. According to the experimental results and generalized correlations of Arsenyeva et al. (2012), friction coefficients in PHE channels at $Re \approx 10,000$ may become 10–100 times greater than those observed in smooth tubes [1]. Nevertheless, this increased resistance is accompanied by substantial improvements in heat transfer coefficients.

6. Fouling Reduction and Energy Efficiency

One of the most important advantages of intensified heat transfer surfaces involves substantial reduction of fouling phenomena. According to Crittenden et al. (2015), this characteristic becomes especially significant under crystallization and particle fouling mechanisms [3].

Studies demonstrated that fouling thermal resistance may be reduced by up to ten times compared with traditional surfaces. Moreover, intensified heat transfer surfaces remain cleaner for longer operational periods even under conditions where conventional systems experience critical fouling accumulation.

A large number of industrial technological processes involve thermal energy transfer, and many of these systems still rely upon outdated technologies. This creates favourable opportunities for redesigning systems through intensified heat transfer surfaces. Such approaches improve process efficiency, increase heat recovery, reduce energy consumption, and decrease CO₂ emissions and other environmentally harmful pollutants generated through fossil fuel combustion.

Conclusion

The conducted analysis demonstrates that heat transfer enhancement technologies represent one of the most important directions in modern thermal engineering and energy efficiency research. Intensified heat transfer surfaces significantly improve thermal performance, reduce equipment dimensions, lower operational costs, and contribute to environmental sustainability.

Passive enhancement methods remain the most practical and economically effective approaches due to their relatively simple implementation and high operational reliability. Intensified tubes, twisted tape inserts, plate heat exchangers, mini-channel systems, and hybrid enhancement techniques all demonstrate substantial improvements in heat transfer performance under various operating conditions.

The analysis further indicates that modern intensified heat transfer systems simultaneously improve heat transfer coefficients, increase thermal compactness, reduce fouling resistance, and enhance energy recovery efficiency. These technologies therefore provide important opportunities for modernizing industrial thermal systems and reducing global energy consumption.

The selection of a specific heat transfer enhancement method must depend upon the technological operating conditions of the heat exchanger system. During modernization of existing shell-and-tube heat exchangers, intensified inserts or enhanced tubes may be utilized, whereas entirely new thermal systems should be designed through comprehensive evaluation of all possible intensified heat transfer alternatives.

Consequently, intensified heat transfer technologies represent an essential component of future sustainable thermal engineering systems and will continue to play a critical role in industrial energy efficiency, process intensification, and environmental protection.

REFERENCES

1. Arsenyeva O. P., Tovazhnyanskyy L. L., Kapustenko P. O., Demirskiy O. V. Heat transfer and friction factor in criss-cross flow channels of plate-and-frame heat exchangers // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2012. Vol. 46, № 6. P. 634–641.
2. Bhattacharyya S., Vishwakarma D. K., Srinivasan A., Soni M. K., Goel V., Sharifpur M., Meyer J. Thermal performance enhancement in heat exchangers using active and passive techniques: a detailed review // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2022. Vol. 147, № 17. P. 9229–9281.
3. Crittenden B. D., Yang M., Dong L., Hanson R., Jones J., Kundu K., Harris J., Klochok O., Arsenyeva O., Kapustenko P. Crystallization fouling with enhanced heat transfer surfaces // *Heat Transfer Engineering*. 2015. Vol. 36, № 7–8. P. 741–749.
4. Gough M. J. Process heat transfer enhancement to upgrade performance, throughput and reduced energy use // *Chemical Engineering Transactions*. 2012. Vol. 29. P. 1–6.
5. Kandlikar S., Garimella S., Li D., Colin S., King M. R. Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels. Oxford: Elsevier, 2014.
6. Kukulka D. J., Smith R. Thermal-hydraulic performance of Vipertex 1EHT enhanced heat transfer tubes // *Applied Thermal Engineering*. 2013. Vol. 61, № 1. P. 60–66.
7. Osintsev K., Aliukov S., Kuskarbekova S., Tarasova T., Karelin A., Konchakov V., Kornyakova O. Increasing thermal efficiency: methods, case studies, and integration of heat exchangers with renewable energy sources and heat pumps for desalination // *Energies*. 2023. Vol. 16, № 13. Art. 4930.
8. Reay D. The role of process intensification in cutting greenhouse gas emissions // *Applied Thermal Engineering*. 2008. Vol. 28. P. 2011–2019.
9. Sitter S., Chen Q., Grossmann I. E. An overview of process intensification methods // *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2019. Vol. 25. P. 87–94.
10. Wang L., Sunden B., Manglik R. M. PHEs: design, applications and performance. Southampton: WIT Press, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

HƏSƏNOV TARIYEL QƏNİMƏT OĞLU, HÜSEYNOV RÜSTƏM SƏXAVƏT OĞLU [BAKI, AZƏRBAYCAN] FASILƏSİZ ENERJİ TƏMİNATININ DAYANIQLILIGINI ARTIRAN İNNOVASİYALARIN TƏTBİQİ PERSPEKTİVLƏRİ.....	3
ЭРГАШЕВА ДИЛФУЗА БАХРОМОВНА [БОХТАР, ТОЪКИСТОН] КОНСТРУКСИЯҲОИ АЛГОРИТМӢ ҲАМЧУН АСОСИ АЛГОРИТМИЗАТСИЯ.....	9
ЭРГАШЕВА ДИЛФУЗА БАХРОМОВНА [БОХТАР, ТАДЖИКИСТАН] ПРОГРАММИРОВАНИЕ КАК ИСКУССТВО МЫШЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	15
ЙУСУОВА ШАҲЛО АЮБОВНА ҲОЛАТ ВА МАСЪАЛАҲОИ БЕХАТАРИИ ИТТИЛООТ ДАР МУАССИСАҲОИ ТАЪЛИМӢ.....	21
ZÜLFÜQAROVA RƏNA XƏYUAM Q., ABASOVA İNARƏ ƏFRAYIL Q. AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ.....	30
ХАМЗИНА БАЯН ЕЛЕМЕСОВНА, КУПЕШОВА АЛТЫНАЙ САКИПКЕРЕЕВНА, РАБАЕВ ТАМИРЛАН КАДЫРОВИЧ [ОРАЛ, ҚАЗАҚСТАН] ӘЛІБЕКМОЛА КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҰҢҒЫМАЛАРДЫ ТҰЗ-ҚЫШҚЫЛМЕН ӨҢДЕУ.....	33
MANMUDOV YƏNYA SÜLEYMAN oğlu [BAKI, AZƏRBAYCAN] BİRBAŞA QOVULMUŞ BENZİNİN HİDROTƏMİZLƏNMƏSİ BLOKUNUN AVTOMATLAŞDIRILMASI.....	37
SALMANOV EMİN SABİR oğlu [BAKI, AZƏRBAYCAN] QAZ PAYLAYICI ŞƏVƏKƏDƏ YANACAĞIN OPTİMAL PAYLANMASI.....	44
ҚАЙНИЕВ ЕРАСЫЛ СЕРІКБОЛУЛЫ, Е. В. БЛИНАЕВА [УСТЬ-КАМЕНОГОРСК, КАЗАХСТАН] МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	51
ЗУПАРОВ АБЛАКИМ АБДУСАЛАМУЛЫ, РАТУШНАЯ Т.Ю. [ПЕТРОПАВЛОВСК, КАЗАХСТАН] АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ SLM НА КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ТЭЦ.....	57
АБДЫБАЕВА ҚАМАР АБДЫДАЛИЛҚЫЗЫ, ОШАНОВА Н.Т. [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] ИНФОРМАТИКА ПӘНІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІКТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ (DELTA FRAMEWORK ТӘЖІРИБЕСІ).....	62
ИСРАИЛОВ ИМИЛЬ РАМИЛЬЕВИЧ, КОРЗЮК ЮРИЙ КИРИЛЛОВИЧ, А.К. КАЮМОВ [ТАШКЕНТ, УЗБЕКИСТАН] ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО БОЯ С ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ.....	66
ҚАРАМАН М.С., ИГЕМБЕРЛИНА М.Б. [КАРАГАНДА, КАЗАХСТАН] РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ.....	77

KURMANALI UALIKHAN AMIRULY, SADYRBAYEVA AINUR SLAMBEKOVNA [SHYMKENT, KAZAKHSTAN] OPTIMIZATION OF SEPARATION AND OIL DEGASSING STAGES.....	81
СИРОЖИДИНОВ ШАМИЛИДИН ИКРОМЖАНОВИЧ [ТАШКЕНТ, УЗБЕКИСТАН] ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ И НАПЛАВКИ.....	85
КАЛИМБЕТОВ ГАЛИМ ПРИМЖАНОВИЧ, ОКСИКБАЕВ НУРЖАН СЕРИКОВИЧ [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (ВИЭ) В ТРАДИЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	89
МАЖИТОВА А.М. [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЭЛЕМЕНТТЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ КУРСЫНА ЕНГІЗУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	94
ГАСАНОВ ОКТАЙ МАИЛОВИЧ, АДГЕЗАЛОВА ХАТЫРЯ АГАКАРИМ КЫЗЫ, ГУСЕЙНОВ ДЖАХАНГИР ИСЛАМ ОГЛЫ [БАКУ, АЗЕРБАЙДЖАН] ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	98
ТОКАНОВ МАНСУР МАРАТОВИЧ, СЕРІКМҰРАТ АРУЖАН АСХАТҚЫЗЫ, ОРАЗБАЕВ АСЫЛБЕК АМАНХОСУЛЫ [ТАЛДЫҚОРҒАН, ҚАЗАҚСТАН] БҰЛТТЫ ЕСЕПТЕУЛЕР МЕН BIG DATA-ДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ҚОЛДАНУ.....	101
YUSIFOV MAARIF ZABIT OGLU, NAZMIYYA BAGIROVA YELMAR QIZI [BAKI, AZERBAIJAN] AZERBAIJAN VƏ İSRAİL TƏCRÜBƏSİ ÜÇÜN NƏZƏRDƏ TUTULAN DAŞINMAZ ƏMLAK LAYİHƏLƏRİNDƏ İNŞAAT PROSESLƏRİNİN İDARƏ EDİLMƏSİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ.....	105
ЧАЛОЛЗОДА ДИЛШОДЧОН САЙКАБИР, САИДОВ АБДУМАЛИК РИЗОЕВИЧ [БОХТАР, ТОЪКИСТОҢ] ТАКМИЛИ ТАЪЛИМИ ФАНҲОИ ТЕХНИКИИ СОҲАИ НАҚЛИЁТИ АВТОМОБИЛӢ ДАР ШАРОИТИ РАҚАМИКУНОӢ ВА ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ИНТЕРАКТИВӢ.....	109
АБДРАХМАНОВ ЕРКЕШ АБДРАХМАНОВИЧ, КАСЫМКАН АЙЖАН АБДИБЕКОВНА [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА.....	114
JAVID BAKHSHALIYEV, GASIM MAMMADOV [BAKU, AZERBAIJAN] THEORY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT.....	119



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

Контакт

els.education23@mail.ru

Наш сайт

irc-els.com