

Structural Design of Cyber-Physical Systems Based on the “Industry 4.0” Platform

T.K. Asgarov¹, N.A. Ragimova², V.H. Abdullayev²

¹*Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

²*Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 34, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

For correspondence:

Asgarov Taleh / e-mail: taleh.naa@gmail.com

Abstract

The article examines the essence and components of the “Industry 4.0” platform. For this purpose, the structural design of the cyber-physical system is made. It also studies a “human-machine” interaction scheme between devices and users. It also looks at applications of cyber-physical systems.

Keywords: Industry 4.0, cyber-physical system, Internet of things, “human-machine” interface

DOI: DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_03_87_95

Received 21.01.2022

Revised 16.09.2022

Accepted 23.09.2022

For citation:

Asgarov T.K., Ragimova N.A., Abdullayev V.H.

[Structural design of cyber-physical systems based on the “Industry 4.0” platform]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 87-95 (in Azerbaijani)

“Sənaye 4.0” platformasına əsaslanan kiber-fiziki sistemlərin struktur layihələndirilməsi

T.K. Əsgərov¹, N.Ə. Rəhimova², V.H. Abdullayev²

¹ *Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)*

² *Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 34, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

Yazışma üçün:

Əsgərov Taleh / e-poçt: taleh.naa@gmail.com

Xülasə

Məqalədə “Sənaye 4.0” platformasının mahiyyəti və tərkib hissələri araşdırılır. Bu məqsədlə kiber-fiziki sistemin struktur layihələndirilməsi həyata keçirilir. Bundan əlavə qurğular və istifadəçilər arasında “insan-maşın” tipli qarşılıqlı əlaqə sxemi şərh edilir. Həmçinin burada kiber-fiziki sistemlərin tətbiq sahələrinə baxılır.

Açar sözlər: “Sənaye 4.0”, kiber-fiziki sistem, əşyaların İnterneti, “insan-maşın” interfeysi

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_03_87_95

УДК: 004.273

Структурное проектирование киберфизических систем на базе платформы «Индустрия 4.0»

Т.К. Аскеров¹, Н.А. Рагимова², В.Г. Абдуллаев²

¹ *Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)*

² *Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг 34, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

Для переписки:

Аскеров Талех / e-почта: taleh.naa@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются сущность и составные части платформы «Индустрия 4.0». С этой целью осуществляется структурное проектирование киберфизической системы. Излагаются схема взаимодействия типа «человек-машина» между устройствами и пользователями. Также рассматриваются область применения киберфизических систем.

Ключевые слова: «Индустрия 4.0», киберфизическая система, Интернет вещей, «человеко-машинный» интерфейс.

Giriş

İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) sürətli inkişafı və funksional baxımdan yeni olan informasiya sensorlarının meydana çıxması fiziki obyektlərin birbaşa internet vasitəsilə idarə edilməsi dövrün aktual məsələlərindən biridir. Son zamanlar informasiya-ölçmə və idarəetmə sahələrində rəqəmsal transformasiyanın inkişafı yeni nəsil intellektual həllərin – *kiber-fiziki sistemlərin* (cyber-physical system, CPS) yaranmasına səbəb oldu. Kiber-fiziki sistemlər (KFS) dünyanın sənaye sektorunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirmək potensialına malik olmuşdur. Bu cür sistemlərə quraşdırılmış altsistemlərin, sensorların, kommunikasiya şəbəkələrinin və idarəetmə sistemlərinin integrasiyası kimi baxmaq olar. Kiber infrastrukturdan istifadənin əsas məqsədi fiziki sistemi (zavod, fabrik və s.) nəzarətdə saxlamaq və idarə etməkdir. KFS-lər eyni vaxtda proqram tərəfindən idarə olunan, fiziki hərəkətləri qəbul edən və yerinə yetirən qurğular şəbəkəsini əhatə edir. Ümumiyyətlə, KFS geniş anlayışdır və hər bir KFS başqa bir KFS-in tərkib hissəsi (altsistemi) rolunda çıxış edə bilər. KFS-lər həm kiçik miqyaslı (məsələn, pilotsuz uçuş aparatı, ərəzi üçün “ağıllı” qurğular sistemi), həm də böyük miqyaslı (zavodlar, fabriklər, “ağıllı” şəhərlər) obyektlərdə geniş tətbiq olunur. Bu cür sistemlər, ələlxüs avtomatlaşdırmanın dördüncü sənaye inqilabı (Industry 4.0) adlanan “Sənaye 4.0” səviyyəsinə keçməsinə təkan vermişdir [1, 2].

“Industry 4.0” (Sənaye 4.0) terminindən ilk dəfə 2011-ci ildə Almaniya istifadə olunmuşdur. “Sənaye 4.0” - tamamilə avtomatlaşdırılmış rəqəmsal istehsalat keçidi təmin edir. Burada internet vasitəsilə real vaxt rejimində və “ağıllı sistemlər” (smart systems) tərəfindən idarə olunan “rəqəmsal sahələr” (digital fields) yaradılır. Nəticədə istehsal sisteminin

bütün fəaliyyət sahələri rəqəmsal idarə olunan “intellektual şəbəkə fabrikinə” çevrilir. Beləliklə, maliyyə və maddi resursların səmərəli istifadəsinə nail olunur.

Sənaye inqilablarının təqribən 100 illik fasilələrlə baş verdiyi nəzərə alınsa, növbəti, yəni dördüncü sənaye inqilabının 2060-2070-ci illərdə baş verəcəyini proqnozlaşdırmaq olar. Əvvəlki inqilablarda əsas xarakteristikaların ədədi silsilə formasında artması baş verirdisə, dördüncü sənaye inqilabında xarakteristikaların həndəsi silsilə ilə artması nəzərdə tutulur. Dördüncü sənaye inqilabı bəzən “Sənaye 4.0” platforması da adlanır.

“Sənaye 4.0” platformasının mahiyyəti və tərkib hissələri

“Sənaye 4.0” standartlarına cavab verən istehsal müəssisələrinin bütün avadanlıqları (qurğuları, cihazları) simsiz bağlantı ilə təmin olunmalıdır. Bu isə bütün istehsal prosesini səmərəli idarə etməyə və müvafiq optimal qərarları qəbul etməyə gətirib çıxarır. Dar mənada, “Sənaye 4.0” platforması 2020-ci ilə qədər Almaniya hökumətində kompüterləşdirilməni həyata keçirən “Hi-Tech” adlı layihəsindən götürülmüşdür. Bu layihədə “ağıllı” istehsalın (smart manufacturing) yaradılmasının müasir konsepsiyaları göstərilmişdir [3]. “Ağıllı” istehsalatda əsas konsepsiya ondan ibarətdir ki, burada avadanlıqların idarə olunması və işlənməsi IoT (Internet of Things, əşyaların İnterneti) texnologiyasına əsaslanır. Belə olan halda müəssisənin avadanlıqlarının idarə olunmasının qlobal sənaye şəbəkəsi (Global Industry Network) formalaşdırılır. Geniş mənada isə “Sənaye 4.0” – kiber-fiziki sistemləri, əşyaların İnternetini, bulud hesablamalarını, mobil qurğuları, modeləşdirmə vasitələrini və s. özündə birləşdirməklə avtomatlaşdırmanı operativləşdirir və verilənlərin mübadiləsini sürət-

ləndirir. KFS-lər istehsalat proseslərinə tətbiq edilərək istehsal və emal etmə sənayesinin rəqabət gücünü artırır. Bu cür sistemlər fiziki, rəqəmsal və bioloji sahələri özündə birləşdirir. Hal-hazırda əşyaların İnterneti texnologiyaları inkişaf etdikcə İnternetə qoşulan qurğuların qoşulma xərcləri azalır, canlı-cansız aləmə aid nümunələrin şəbəkədəki sayı artır. Əşyaların İnterneti texnologiyasının tam olaraq işləməsi irihəcmli informasiyanın minimal gecikmə ilə sürətli şəkildə ötürülməsindən asılıdır.

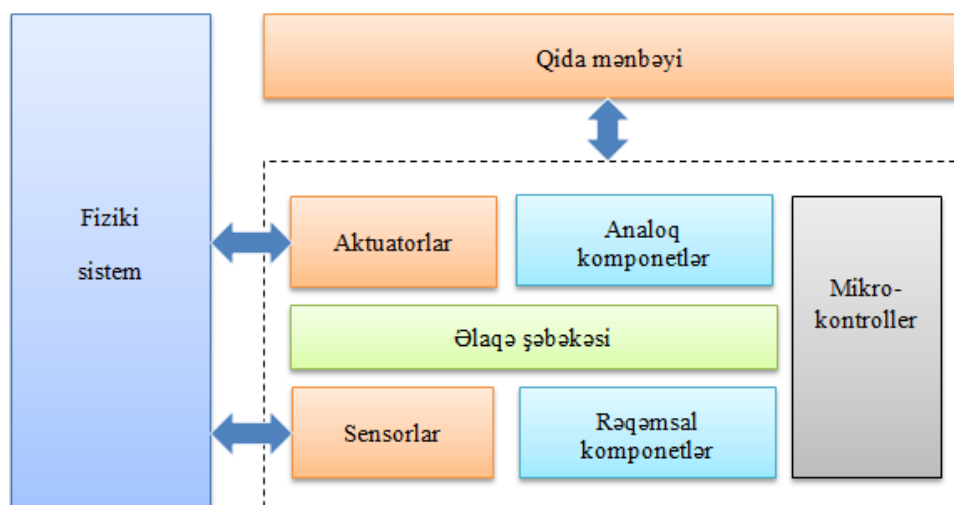
“Sənaye 4.0” platformasının konsepsiyası dörd prinsipə əsaslanır. Bunlar aşağıdakılardır:

- insan və qurğuların funksional uyğunluğu. Yəni, İnternet vasitəsilə real vaxt rejimində əlaqə yaratmaq imkanı;
- informasiyanın şəffaflığı və sistemin fiziki aləminin virtual sürətinin yaradılması imkanı;
- böyük həcmli verilənlərin (big data) əlaqələndirilməsi və vahid formata gətirilməsi imkanları;
- müxtəlif sistemlərin müstəqil qərar qəbul etmə imkanları.

Hal-hazırda bir çox istehsalçı şirkətlər öz fəaliyyətini “Sənaye 4.0” platforması əsasında həyata keçirirlər [4,5]. Onların vahid konsepsiya çərçivəsində birləşməsi istehsalın dinamikasını dəyişməyə və onun tərkib hissələrini araşdırmağa imkan verir. Mövcud yanaşmaların sintezi, eləcə də inkişaf strategiyalarının prioritetləri və aparılmış elmi təhlillərin nəticələri əsasında dördüncü sənaye inqilabının tərkib hissələrini şəkil 1-də göstərildiyi kimi təklif etmək olar.



Şəkil 1 – “Sənaye 4.0” platformasının tərkib hissələri
Figure 1 – Composition of the platform “Industry 4.0”



Şəkil 2 – Kiber-fiziki sistemin ümumi strukturu
Figure 2 – General structure of cyber-physical system

İnformasiya təhlükəsizliyi. Bir çox sənaye şirkətləri hələ də qlobal şəbəkəyə bağlı olmayan qapalı istehsal idarəetmə sistemlərindən istifadə edir. Sənaye sistemlərinin informasiya təhlükəsizliyini təmin etmək üçün şəbəkə protokollarından istifadə edilir. Nəticədə kibertəhlükəsizlik meyarları əsasında sistemə etibarlı giriş, dayanıqlı rabitə, eləcə də istifadəçilərə və qurğulara düzgün nəzarət həyata keçirilir.

Bulud hesablamaları. Bəzi sənaye şirkətləri artıq işlərində qismən bulud proqramlarından istifadə edirlər. Lakin "Sənaye 4.0" platformasının inkişafı ilə bu texnologiya daha çox problemləri həll etmək üçün istifadə ediləcək. Zaman keçdikcə buludda verilənlərin saxlanması texnologiyasının keyfiyyət göstəriciləri yaxşılaşacaq. Sorğulara verilən cavab müddəti azaldılacaq və gələcəkdə istehsal prosesinə nəzarət sistemlərinin işləməsi bütövlükdə bulud texnologiyalarına əsaslanacaq.

Mobil texnologiyalar. "Sənaye 4.0" platformasında mobil texnologiyalara əsaslanan komponentlər üstünlük təşkil edir. Belə ki, fiziki obyektəki sənaye IoT sistemlərindən alınan real zaman verilənləri mobil texnologiyalar vasitəsilə buluda ötürülür. Bu verilənlər buludda Big data texnologiyaları vasitəsilə emal edilir və saxlanır.

Sistemlərin integrasiyası. Hal-hazırda istifadə olunan informasiya sistemləri tam integrasiya edilməmişdir. "Sənaye 4.0" platforması bu şəbəkələrə yenidən baxılmasını tələb edir. Yəni, sistemin fəaliyyət proseslərinin (kommersiya və sənaye) hərtərəfli integrasiyası tələb olunur. Bunun üçün yalnız müəssisə daxilindəki müxtəlif səviyyələrdə (şöbələrdə) deyil, istehsal dövründəki müxtəlif tərəfdaş müəssisələr arasında da sıx əməkdaşlıq qurulması vacibdir.

Rəqəmsal modelləşdirmə. Müasir dövrdə yeni bir məhsulun hazırlanması mərhələsində obyektlərin, materialların və istehsal proseslərinin 3D modelləşdirilməsi geniş tətbiq olunur. Gələcəkdə bu texnologiya istehsal prosesində geniş istifadə ediləcəkdir ki, bu da fiziki obyektin müvafiq aktual verilənlərini real vaxt

rejimində virtual model şəklində təsvir etməsinə imkan verəcək. Beləliklə, avadanlığın quraşdırılması vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalacaq və məhsulların keyfiyyəti artacaqdır.

Additiv istehsalat və robototexnika. Sənayedə 3D çapının tətbiqi və ayrı-ayrı detalların hazırlanması kimi additiv texnologiyalar vasitəsilə həyata keçirilir. "Sənaye 4.0" platformasında additiv metodların meydana gəlməsi ilə unikal məhsulların seriyalı istehsalı üçün geniş imkanlar yaratmışdır. Məsələn, aerokosmik müəssisələr artıq yeni hava gəmiləri yaratmaq üçün additiv texnologiyalardan istifadə etməklə onun çəkisini, ölçüsünü azaldır və bununla da xammal istehlakını minimuma endirir.

Sənaye robotları artıq uzun zaman müəkkəb məsələlərin icrası üçün müxtəlif sənaye sahələrinin iri müəssisələrində istifadə olunur. Ancaq bu gün robotlar sələflərindən fərqli olaraq getdikcə daha çox müstəqil, çevik və icraçı olurlar. Zaman keçdikcə onlar bir-biri ilə münasibət qurmağa başlayacaq. Onlar nəinki bir insanla yan-yanə sakitcə işləyəcək, həm də insana nə işə öyrədəcək.

Əşyaların İnterneti. Əşyaların İnterneti KFS ilə əlaqədə vacib konsepsiyadır. Onlar mövcud texnologiyalar əsasında fiziki qurğuların identifikasiyası və virtuallaşdırılmasını həyata keçirir. Bu gün istehsalatdakı avadanlıqların və qurğuların yalnız bir hissəsi İnternetə qoşulmuşdur. İstehsal prosesinin idarə edilməsi iyerarxik strukturu şəklində təşkil olunur. Strukturda aşağı səviyyənin elementləri – sensorlar, periferiya qurğuları və mikrokontrollerlər yuxarı səviyyələrə verilənləri ötürür. Əşyaların İnternetinin köməyi ilə qurğular müvafiq şəbəkə protokolları ilə təchiz olunur və onların hesablama imkanları artır. Beləliklə, qurğular müstəqil olaraq verilənləri emal edir, idarəetmənin müvafiq səviyyəsində bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqə qurur və yalnız lazım olduqda mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sisteminə keçid edir.

Böyük verilənlər. Böyük verilənlər IoT-u tamamlayan mühüm texnologiyalardan biridir və böyük, müxtəlif tipli, müxtəlif ölçülü və

strukturlaşdırılmamış verilənlərin emalı üçün alətlər və texnika təqdim edir. Sənaye sahəsində tətbiq olunan böyük həcmli verilənlər məhsulun keyfiyyətini optimallaşdırmağa, enerjiyə qənaət etməyə və avadanlığın iş qabiliyyətini yüksəltməyə icazə verir. Sənaye 4.0 platforması üzərində müxtəlif informasiya mənbələrindən verilənlərin toplanması və emalı (ERP və CRM sistemləri) real vaxt rejimində qərar qəbulunun dəstəklənməsi üçün standart bir vasitə olacaqdır.

RFID texnologiyalar

RFID texnologiyası (**Radio Frequency Identification**, radiotezlik identifikasiyası) radiosiqnallardan istifadə edərək obyektlərin (əşyaların, qurğuların) avtomatik identifikasiyası üçün istifadə olunur. İdentifikasiyanı həyata keçirmək üçün RFID çiplər tətbiq olunur. Bu çiplər xüsusi antenlə təchiz olunaraq verilənlərin saxlanması, qəbulu və ötürülməsi emalı üçün radiotezlik siqnallarının modulyasiyasını və demodulyasiyasını icra edir.

Süni intellekt. Süni intellektə əsaslanan KFS-lər böyük həcmli verilənləri generasiya edir, onların dəqiq emalını və analizini yerinə yetirir. Süni intellekt proqnozlaşdırma modelləri əsasında sənayenin fəaliyyətinin gələcək dinamikasını əks etdirir.

Maşınla öyrətmə (machin learning) metodundan istifadə edərək, istehsalçılar alqoritmik həlləri olan sistemlərin məlumatları əsasında proqnozlaşdırma modelləri yarada, istehsal şansını artırmaq üçün istehsal prosesinin əvvəlində hazır məhsulların keyfiyyətini proqnozlaşdıraraq istehsalçılara fayda verə bilərlər. Hər zaman qurğuların necə işlədiyini müəyyən etmək üçün onun verilənləri təhlil edilə bilər.

Kiber-fiziki sistemin strukturunun layihələndirilməsi

KFS müxtəlif fiziki obyektlər, altsistemlərdən (komponentlərdən) ibarət olan və müxtəlif sensorlardan gələn əks əlaqələrdən istifadə etməklə idarə edilən sistemlərdir. KFS-in işləməsi hesablama və fiziki proseslərin inteq-

rasiyası prinsipinə əsaslanır, yəni, fiziki obyektlər sistemin bir hissəsini təşkil edir. Texniki baxımdan, KFS bir çox informasiya-texniki konsepsiyalarla yanaşı “Əşyaların İnterneti” (Internet of Things, IoT), “Sənaye 4.0” (Industry 4.0), “Sənaye Əşyalarının İnterneti” (Industrial Internet of Things, IIoT), maşınlararası qarşılıqlı əlaqə (Machine-to-Machine Interaction, M2M), “bulud”, “duman” və “şəh” hesablamaları (cloud computing, fog computing, dew computing) vasitəsi ilə reallaşdırılan şəbəkə (grid) tipli strukturdur [6, 7].

KFS-in ümumi strukturuna sensorlar, kontrollerlər, aktuatorlar və fiziki sistemlər daxildir (şəkil 2). Burada sensorlar fiziki sistemə nəzarət edir və ölçmə nəticələrini mikrokontrollerə çatdırır. Mikrokontroller isə fiziki hərəkətləri yerinə yetirən aktuatorlara idarəetmə siqnalları göndərir. KFS-in bu tərkib hissələri müəyyən məsələnin həlli üçün zaman və məkan baxımından qarşılıqlı əlaqədə olur və vahid mühit formalaşdırır. Fiziki sistemlər böyük qranulyar miqyaslı sistemlərin təkamülünün növbəti pilləsidir. Başqa sözlə, belə sistem bir çox başqa mürəkkəb sistemlər çoxluğundan ibarətdir.

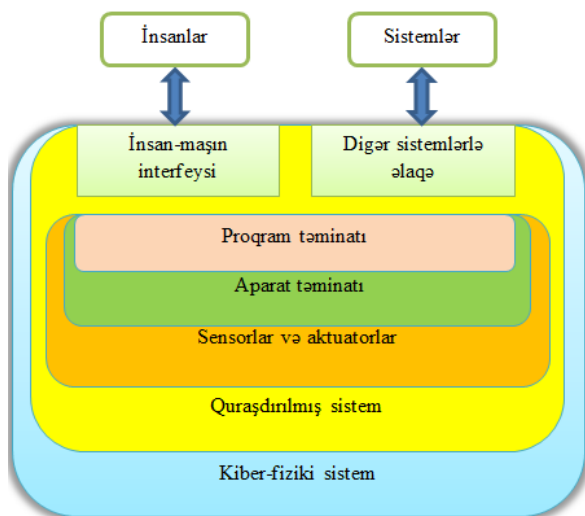
Bu komponentlər aşağıdakılardır:

- qida mənbəyi (batareya, akkumulyator);
- fiziki sistem – fiziki aləmin real obyektləri (zavod, fabrik və s.);
- fiziki sistemlə qarşılıqlı əlaqə interfeysləri – sensorlar, aktuator adlanan idarəedici mexanizmlər və s;
- analoq tipli komponentlər;
- rəqəmsal tipli komponentlər;
- proqram təminatının işlənməsi üçün – mikrokontroller;
- əlaqə şəbəkəsi – internet, telekommunikasiya və ya rabitə şəbəkəsi.

KFS-lər həmçinin insanlar, maşınlar və məhsullar arasında verilənlərin mübadiləsini təmin edir və dəstəkləyir. KFS-in hər bir elementi verilənləri toplamaq və emal etmək qabiliyyətinə malik olub, həmçinin avtonom şəkildə müəyyən məsələlərə nəzarət edir və interfeys vasitəsilə insanlarla qarşılıqlı əlaqə qurur. Burada əsas məqsəd istehsal proseslərinin

optimallaşdırılmasını həyata keçirməkdən ibarətdir. Yəni burada, maşınlar (qurğular) öz kontekstlərini təyin edir, istehsal şərtlərinə uyğunlaşaraq özlərini yenidən konfigurasiya etməyi bacarır və bir-biri ilə müstəqil şəkildə simsiz əlaqə saxlaya bilir.

Digər maraqlı cəhət isə “ağıllı” fabriklər (smart factories) konsepsiyasıdır ki, bu da bulud texnologiyasından istifadə etməklə idarəetmə nəzarətinin həyata keçirilməsidir. Buna əsaslanaraq qurğular, işçi resurslar və applikasiya sistemləri arasında real vaxt rejimində əlaqə yaratmağa imkan verən “ağıllı” qurğular və ya “ağıllı” obyektlər yaradılır. Belə olan halda KFS-lərdə istehsal sistemlərinin intellektual təşkili, o cümlədən məhsulun xassələri, xərcləri, logistika, təhlükəsizlik və s. yüksək çevikliyini təmin edir. Şəkil 3-də insanlarla qarşılıqlı əlaqə yaratmaq üçün “insan-maşın” interfeyslərdən istifadə edən KFS-in müxtəlif təbəqələri göstərilmişdir.



Şəkil 3 – Kiber-fiziki sistemlərlə insanlar və maşınlar arasındakı qarşılıqlı əlaqə

Figure 3 – Interaction between humans and machines via Cyber-Physical Systems

Sistemdə quraşdırılmış kompüterlər və şəbəkələr ətraf mühitdə baş verən fiziki prosesləri qapalı əks-əlaqə hesablamalarına əsaslanaraq izləyir və idarə edir. KFS fiziki proseslərin dinamikasını proqram və şəbəkə ilə

inteqrasiya edir. İnteqrasiya olunmuş sistem abstraksiya, modelləşdirmə, layihələndirmə və analiz üsullarını təmin edir. Bu da “Sənaye 4.0” platformasında həyata keçirilən əməliyyatlardakı köklü dəyişikliklərlə istehsal mühitinə də əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. İstehsal planlaşdırılmasından fərqli olaraq istehsal planlarının real vaxt rejimində planlaşdırılmasına imkan yaradır. “Sənaye 4.0” əməkdaşlarla biznes partnyorları arasında daha yaxşı əməkdaşlığın yaradılmasını təmin edir.

Kiber-fiziki sistemlərin tətbiq sahələri

KFS-in tətbiqləri hər biri xidmətin effektivliyinin və qəbul edilən qərarların səmərəliliyinin artırılması məqsədi ilə saxlanılma, emal və təhlil üçün böyük həcmli verilənlər yaradır [8, 9, 10]. Bu baxımdan KFS-lər aşağıdakı sahələrdə tətbiq olunur:

Elm və təhsil. Elektron elm və təhsil mühitində KFS-in inteqrasiyası kontekstinə Big Data analitikası, kiber platformalar və hesablamalar, tətbiqlər, fiziki obyektlər aiddir. Elmi verilənlər – fiziki eksperimentlər, kimyəvi təcrübələrdə müxtəlif sensorlardan alınan verilənlər, bioloji verilənlər, spektral analizlərin nəticələri, teleskoplardan çəkilmiş fotosəkillər, tarixi əsərlər, sənədlər, əlyazmalar və s. ola bilər. Bu verilənlər alimlərin bir-birindən uzaqda olan birliklərinə, virtual kollektivlərə və laboratoriyalara da təqdim edilə bilər. Toplanmış verilənlər emal olunaraq yeni biliklərə çevrilir. Elektron təhsil sistemində Big Data və Data Mining texnologiyalarının istifadəsi üstün götürülür. Bu texnologiyalarla lazımlı informasiyanın təhsil alanlara vaxtında çatdırılması, tədris prosesinin təkmilləşdirilməsi, “ağıllı” tədrisin (smart education) hazırlanması, sosial şəbəkələrdən təhsil alanlar haqqında informasiyanın əldə olunması, maarifləndirici prosesin daimi monitorinqinin aparılması və s. imkanlar təklif edir.

Səhiyyə. Son zamanlar bir çox səhiyyə sistemləri öz KFS-ni təqdim edir. Məsələn, xəstəxanalarda pasiyentin cərrahiyəsində quraşdırılmış monitorda pasiyentin cari vəziyyətini

təyin edən göstəricilər (təzyiq, ürəyin ritmi və s.), laborator analizlərin nəticələri və s. kimi verilənlər əks etdirilir. Bu gün səhiyyə sisteminin bir çox sahələri izolə edilmiş vəziyyətdə idarə olunur və bunun həlli üçün məhdud sayda proqram tətbiqləri yaradılır. Kardiostimulyatorlar, kompüter tomoqrafiya aparatları və MRT-skanerlər kimi tibbi qurğulara məsafədən kiberhücumlar edilə bilər, bu isə pasiyentlərin həyatını birbaşa təhlükə altında qoya bilər. Gələcəkdə tibbi prosesləri, pasiyentləri və onun fərdi məlumatlarının təhlükəsizliyini yaxşılaşdırmaq üçün səhiyyənin bir çox sahələri şəbəkələşmiş qapalı əks-əlaqəli sistemlərə birləşdiriləcək.

Sənayenin avtomatlaşdırılması və robototexnika. Hal-hazırda proseslərin idarə olunması sistemləri (process control systems) KFS-lərin tipik nümunəsidir. Təkrar istehsal texnologiyasında son məhsul hazırlamaq üçün xammal dəyişdirilmə və emal prosesinə yönəldilir. Məhsulun istehsalı zamanı prosesin dəyişənlərini idarə etmək üçün müvafiq metodlar istifadə olunur. Təkrar istehsal özündə kimya, qida, su təmizləmə, enerji və s. kimi sənayeləri birləşdirir. Bunlardan əlavə sənayenin avtomatlaşdırılması prosesinə fiziki infrastrukturun idarə edilməsi və monitorinqi, elektrik enerjisinin istehsalı və paylaşdırılması, tikinti, ekoloji nəzarət mexanizmləri KFS-ə aid edilir.

Kommunikasiya. Rəqəmsal idarəetmə, radio spektrlər və fiber-optik kanallar baxımından kommunikasiya sistemləri (rabitə vasitələri) KFS sayıla bilər. Bunlardan əlavə mobil rabitə (cellular backhaul network), sensorlu (sensor networks) və simsiz şəbəkə (wireless networks) mexanizmləri aid edilir.

Enerji. Enerjinin istehsalı, paylaşdırılması və optimallaşdırılması KFS-in əsas tətbiq sahələridir. Məsələn, “ağıllı” şəbəkə (smart grid) adlanan sistem elektrik stansiyalarını bir-biri ilə əlaqələndirir. Bu texnologiyaya əsasən istehsal olunan elektrik enerjisinin istehlakçılara itkisiz çatdırılması və yükün səmərəli şəkildə paylanması təmin edilir. Bundan əlavə, “ağıllı” binaların (smart buildings) sensorları işıqlandırmanın idarə olunmasını (istilik, ven-

tilyasiya və kondisioner) və təhlükəsizlik (video müşahidə, yanğına nəzarət, evakuasiya) məsələlərini müəyyən edir.

İnfrastruktur. İnsanların yaşadığı rəqəmsal cəmiyyətdə müasir infrastrukturun (elektrik, su, qaz, yollar və s.) smart üsullarla təşkili lazımdır. İri miqyaslı sənaye idarəetmə sistemləri cəmiyyətin həyat fəaliyyətinin təhlükəsizliyini təmin edən elektrik enerjisi şəbəkələri, nəqliyyat sistemləri, neft və qaz kəmərləri, su təchizatı şəbəkələri və s. kimi kritik infrastrukturlarda vacib rol oynayırlar. Bu baxımdan KFS-lər aşağıdakı infrastrukturun idarə olunmasına və onlara xidmətlərin göstərilməsinə kömək edir:

- qəza hallarında bərpa (disaster recovery) mexanizminin təşkili;
- strukturda sağlamlığın monitorinqini, (structural health monitoring, SHL);
- su təchizatının optimal idarə olunması və təhlükəsiz monitorinqi (water distribution optimization and safety monitoring).

İstehsalat. KFS baxımından istehsalat proseslərinin idarə edilməsi dedikdə, çoxsaylı sensorlar, aktuatorlar, telemetriya blokları, proqramlaşdırılan məntiqi kontrollerlər (Programmable Logic Controller, PLC) və “insan-maşın” interfeysləri nəzərdə tutulur. Belə idarəetmə sistemlərindən biri SCADA adlanır. Həmçinin buraya robotlaşdırılmış avadanlıqlar, texniki görmə imkanlarını, kompüterlə idarəetmə məsələlərini təmin edən istehsalat sistemləri də aid edilir.

Nəqliyyat. KFS-in nəqliyyatda tətbiq sahələrinə aşağıdakılar aiddir:

- avtonəqliyyat sistemləri;
- avionika və aerokosmik sənaye;
- liftlər, eskalatorlar və piyada səkiləri;
- yol hərəkətinin idarə olunması.

Nəticə

Dördüncü sənaye inqilabı platformasının reallaşdırılması ilə cəmiyyətdəki bir sıra mühüm problemlər öz həllini tapmaqda davam edir. Bu platforma kiber-fiziki sistemləri istehsalat proseslərinə tətbiq edərək istehsal və emalətmə sənayesinin rəqabət gücünü artır-

maq məqsədini güdür. Kiber-fiziki sistemlər “Sənaye 4.0” platformasında idarəetmə, hesablama və kommunikasiya vasitələri ilə inteqrasiya edilmiş və qarşılıqlı fəaliyyət göstərən “kiber” və “fiziki” səviyyələrlə qurulan yeni bir yanaşmadır.

Məqalədə əsas məqsəd “Sənaye 4.0” platforması ilə bağlı kiber-fiziki sistemlərin

komponentlərini və strukturunu araşdırmağa yönəldilmişdir. Buraya “Sənaye 4.0” platforması əsasında qurulan kiber-fiziki sistemin struktur sxeminin komponentləri tədqiq edilmiş və fiziki obyektlə onlar arasındakı əlaqələr göstərilmişdir. Həmçinin qurğular və insanlar arasında “insan-maşın” interfeysinin təşkili üçün qarşılıqlı əlaqə sxemi qurulmuşdur.

REFERENCES

1. **Asgarov T.K.** Using cloud technology in the network Internet of things. *Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions* (ISSN: 2674-5224), 2021, Vol 8, No 4, pp. 127-127 (*in Azerbaijani*)
<https://zenodo.org/record/5068497#.Yd1qDP5BzIW>
2. **Ragimova N.A., Abdullayev V.H., Asgarov T.K.** Internet of military things: from ancient war to modern war. *IJBPA* (ISSN: 2277-4998), 2021, Vol 10, No 11, pp. 1464-1477 (*in English*)
<https://doi.org/10.31032/IJBPA/2021/10.11.1127>
3. **Gardashova L.A., Hasanli N.I.** Analysis of methods based on evolutionary computing. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy* (ISSN 2076-0515), 2018 Vol 10, No 2, pp. 92-99 (*in Azerbaijani*)
4. **Atzori L., Iera A., Morabito G.** The internet of things: A survey, *Computer networks*, 2010, Vol. 54 No. 15, pp. 2787-2805. (*in English*)
<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
5. **Eyisi E., Zhang Z., Koutsoukos X.** Model-based control design and integration of cyberphysical systems: an adaptive cruise control case study, *Journal of Control Science and Engineering*, 2013, Vol. 2013. (*in English*)
<https://doi.org/10.1155/2013/678016>
6. **Jin J., Gubbi J., Marusic S.** An information framework for creating a smart city through internet of things, *IEEE Internet of Things Journal*, 2014, Vol. 1 No. 2, pp. 112-121. (*in English*)
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2013.2296516>
7. **Lee J., Bagheri B., Kao H.** A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems, *Manufacturing Letters*, 2015, Vol. 3, pp. 18-23. (*in English*)
<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
8. **Sanislav T., Miclea L.** Cyber-physical systems-concept, challenges and research areas, *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 2012, Vol. 14 No. 2, pp. 28-33. (*in English*)
9. **Wan J., Zhang D., Zhao S., Yang L.** Context-aware vehicular cyber-physical systems with cloud support: architecture, challenges, and solutions, *IEEE Communications Magazine*, 2014, Vol. 52 No. 8, pp. 106-113. (*in English*)
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6871677>
10. **Cyber-Physical Systems and Industry 4.0: Properties, Structure, Communication, and Behavior.**
https://www.researchgate.net/publication/332420221_Cyber-Physical_Systems_and_Industry_40_Properties_Structure_Communication_and_Behavior