

LU240 ULTRASƏS SENSORU ƏSASINDA SU KANALLARINDA SƏRFİN ÖLÇÜLMƏSİ VƏ İDARƏETMƏ QURĞUSUNUN İŞLƏNİLMƏSİ

Məryam İqbal qızı Məmmədli

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat universiteti, Bakı, Azərbaycan

MICROPROCESSOR-BASED SYSTEM FOR REAL-TIME MEASUREMENT AND CONTROL OF OPEN-CHANNEL DISCHARGE USING THE SITRANS PROBE LU240 ULTRASONIC SENSOR

Maryam Iqbal Mammadli

Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan: maryammammadli@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5578-4517>

Abstract. The article investigates the development of a microprocessor-based intelligent measurement and control system for measuring and automatically regulating water flow in open channels. The proposed system is built on the 4-20 mA standard analog output of the LU-240 ultrasonic level sensor operating based on the ultrasonic measurement principle. The analog current signal generated by the sensor is transmitted to the analog input of an STM32F103 microcontroller via a current-to-voltage converter, where it is digitized and scaled. The measured level values are converted into flow rate values by considering the hydraulic characteristics of the open channel and are processed at the software level. The functional structure of the system includes a measurement module, a microprocessor-based processing unit, an EEPROM memory unit, an I2C interface graphic LCD display, an RF communication module, and a power supply unit. The device power supply is organized based on a solar panel and a lithium-polymer battery, ensuring long-term and uninterrupted operation without dependence on an external power source. The system also provides capabilities for remote data transmission and integration with SCADA systems. The proposed intelligent device can be recommended as an effective and economically feasible solution for flow measurement and automatic control in open water channels, reservoirs, and similar hydraulic structures.

Keywords: water discharge, LU-240, ultrasonic sensor, STM32F103, SCADA.

© 2026 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

Giriş. Açıq su kanallarında su sərfinin ölçülməsi hidrometrik müşahidələrin əsasını təşkil edir və su ehtiyatlarının planlaşdırılması, paylaşılması və səmərəli idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Beynəlxalq hidrometrik təcrübədə açıq kanallarda axının ölçülməsi su resurslarının idarə olunmasının fundamental elementi kimi qəbul olunur və bu prosesin düzgün təşkili ölçmə nəticələrinin etibarlılığına birbaşa təsir göstərir [1, s. 1–2].

Azərbaycan Respublikası su təminatı baxımından məhdud su ehtiyatlarına malik ölkələr sırasına daxildir və bu səbəbdən mövcud su resurslarından rəşional istifadə məsələsi xüsusi aktualıq kəşb edir. Su anbarları və onlardan qidalanan açıq su kanallarında tələbatçılara verilən su sərfinin düzgün və operativ şəkildə təyin edilməsi su itkilərinin azaldılması və su balansının qorunması baxımından əsas problemlərdən biri hesab olunur. Xanbulançay su anbarı timsalında aparılmış tədqiqatlarda göstərilmişdir ki, çıxış kanallarında su sərfinə operativ nəzarətin təmin edilməsi üçün müasir informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemlərinin tətbiqi zəruridir [2].

Hazırda açıq su kanallarında su sərfinin təyin edilməsi əsasən empirik tənliklərə və hidravlik hesablamaya üsullarına əsaslanır. Açıq kanal axınlarında sərfin təyini üçün sürət-sahə üsulu ilə yanaşı, Manning tənliyi və digər empirik asılılıqlar geniş tətbiq olunur. Bu üsullar müəyyən istismar şəraitlərində qənaətbəxş nəticələr versə də, empirik əmsalların kanal yatağının vəziyyətindən asılı olaraq dəyişməsi hidravlik hesablamaların nəticələrinə birbaşa təsir göstərir və ölçmə xətalalarının yaranmasına səbəb ola bilər. Bu səbəbdən ölçmə məlumatlarının avtomatlaşdırılmış şəkildə toplanması və emalı müasir hidrometrik sistemlər üçün zəruri hesab olunur [3].

Açıq su kanallarında sərfin səviyyə ölçmələrinə əsasən hesablanması üçün ən geniş tətbiq olunan empirik asılılıqlardan biri Manning tənliyidir [3]:

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} A$$

v – orta sürət (m/s);

- R – hidravlik radius (en kəsik sahəsi/nəm mühit) (m);
- J – kanal əyrisi (m/m);
- n – Gauckler-Manning əmsalı ($m^{-1/3}$ x san);
- A – axan suyun en kəsiyi sahəsi (m^2);
- P – su ilə təmasda olan kəsik sahəsinin perimetri və ya yaş perimetri (m).

Müasir hidrometriyada su sərfi hidrologiyanın ən mühüm ölçmələrindən biri hesab olunur və bu göstəricinin dəqiqliyi bir hövzədə baş verən hidroloji proseslərin düzgün qiymətləndirilməsi üçün həlledici əhəmiyyət daşıyır. Aparılmış tədqiqatlarda göstərilir ki, açıq kanal axınlarında sərfin ölçülməsi zamanı ənənəvi üsulların tətbiqi ilə yanaşı, müasir ölçmə cihazları və avtomatlaşdırılmış monitoring sistemlərinə ehtiyac getdikcə artmaqdadır [4].

Son illərdə ölçmə texnologiyalarının inkişafı açıq su kanallarında sərfin təmassız üsullarla ölçülməsinə və ölçmə prosesinin avtomatlaşdırılmasına imkan yaratmışdır. Ultrasəs ölçmə prinsipinə əsaslanan səviyyə sensorları mexaniki aşınmanın olmaması, uzunmüddətli istismar və sərt mühit şəraitində etibarlı işləmə xüsusiyyətləri ilə seçilir. Sənaye avtomatikasında 4-20 mA analoq çıxış interfeysi ölçmə məlumatlarının uzun məsafələrə və elektromaqnit maneələrə davamlı şəkildə ötürülməsi məqsədilə tətbiq olunur [5, s. 1–2].

Açıq su kanallarında yalnız ölçmənin deyil, həm də ölçmə nəticələrinə əsaslanan avtomatik idarəetmənin təşkili hidravlik rejimin stabil saxlanması üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Nasosların və ya tənzimləyici klapaların drayver vasitəsilə idarə olunması su sərfinin normativ hədlərdə saxlanılmasına və insan faktorunun minimuma endirilməsinə imkan verir.

Bu işin məqsədi ultrasəs ölçmə prinsipinə əsaslanan LU-240 tipli səviyyə sensoru, STM32 əsaslı mikroprosessorlu idarəetmə bloku və drayver vasitəsilə avtomatik idarəetmə tətbiq etməklə açıq su kanallarında su sərfinin ölçülməsi və tənzimlənməsi üçün intellektual ölçmə-idarəetmə qurğusunun işlənilməsi və tədqiqindən ibarətdir.

Məsələnin qoyuluşu. Açıq su kanallarında su sərfinin ölçülməsi və tənzimlənməsi üçün mövcud ölçmə vasitələrinin təhlili göstərir ki, ölçmə nəticələrinin etibarlılığı ölçmə sisteminin texniki xüsusiyyətlərindən, yerləşmə şəraitindən və ətraf mühit amillərindən birbaşa asılıdır. Bu baxımdan ultrasəs ölçmə prinsipinə əsaslanan mövcud səviyyə sensorları və mikroprosessorlu idarəetmə vasitələri bazasında yeni intellektual ölçmə-idarəetmə qurğusunun işlənilməsi aktual elmi-texniki vəzifə kimi qarşıya çıxır.

Təklif olunan ölçmə-idarəetmə sisteminin işlənilməsi zamanı informasiya-ölçmə və mikroprosessor texnologiyalarının müasir nailiyyətlərindən istifadə edilmiş və açıq su kanalları üçün xarakterik olan əsas parametrlər nəzərə alınmışdır. Bu parametrlərə su səviyyəsinin dəyişməsi, axının hidravlik rejimi, ölçmə qurğusunun yerləşmə şəraiti, eləcə də ətraf mühitin temperaturu daxildir.

İşlənən ölçmə qurğusu aşağıdakı əsas funksiyaların yerinə yetirilməsini təmin etməlidir:

- ultrasəs sensoru vasitəsilə su səviyyəsinin zaman üzrə dəyişməsinin ölçülməsi $h(t)$;
- ölçülmüş səviyyə məlumatları əsasında açıq su kanalında su sərfinin hesablanması $Q(t)$;
- ətraf mühit temperaturunun ölçülməsi və ölçmə nəticələrinə temperatur təsirlərinin nəzərə alınması;
- ölçmə nəticələrinin mikroprosessorlu idarəetmə blokunda emalı və yaddaşda saxlanması;
- ölçmə məlumatlarının növbəti idarəetmə səviyyəsinə ötürülməsi üçün məlumat massivlərinin formalaşdırılması;

Ölçmə-idarəetmə qurğusunun elektron sxemi sənaye mühitində mövcud olan elektromaqnit maneələrə qarşı dayanıqlı olmalı və uzunmüddətli istismar zamanı ölçmə dəqiqliyini saxlamalıdır. Uzaq və enerji təchizatının məhdud olduğu ərazilərdə tətbiq imkanlarını genişləndirmək məqsədilə qurğunun enerji təchizatında kabel xəttindən istifadə edilməməli və günəş enerjisi əsasında qidalanma nəzərdə tutulmalıdır [6, s. 40–45].

Beləliklə, təklif olunan intellektual ölçmə-idarəetmə qurğusunun işlənilməsi zamanı aşağıdakı əsas meyarlar rəhbər tutulmalıdır: aşağı maya dəyəri, quraşdırmanın sadəliyi, ölçmə həssaslığının və

dəqiqliyinin yüksək olması, istismar etibarlılığı, eləcə də müxtəlif hidravlik şəraitlərə uyğunlaşma imkanlarının mövcudluğu.

İntellektual ölçmə-idarəetmə qurğusunun işlənilməsi. Açıq su kanallarında su səviyyəsinin fasiləsiz və etibarlı ölçülməsi su sərfinin düzgün hesablanması əsas şərtlərdən biridir. Bu məqsədlə təklif olunan ölçmə-idarəetmə sistemində ilkin çevirici qismində ölçüləcək məsafəni 4-20 mA diapazonunda cərəyana çevirə bilən sənaye tipli SITRANS LU240 ultrasəs səviyyə sensoru seçilmişdir. Sensorun seçilməsi zamanı açıq kanallarda ölçmə şəraitinə uyğunluq, ölçmə dəqiqliyi, sənaye avtomatikası sistemləri ilə inteqrasiya imkanları və istismar etibarlılığı əsas meyarlar kimi qəbul edilmişdir. Açıq su kanallarında su sərfinin dəqiq müəyyən edilməsi birbaşa su səviyyəsinin etibarlı ölçülməsindən asılıdır. Bu məqsədlə təklif olunan ölçmə-idarəetmə sistemində əsas ölçmə elementi kimi sənaye tipli ultrasəs səviyyə sensoru SITRANS LU240 seçilmişdir. Sensorun seçimi onun təmassız ölçmə prinsipi, sənaye avtomatikası sistemləri ilə uyğunluğu və açıq kanallarda tətbiq imkanları nəzərə alınmaqla əsaslandırılmışdır [5, s. 2–4].

SITRANS LU240 ultrasəs impulslarının su səthinə ötürülməsi və əks olunmuş siqnalın geri qayıtma vaxtının ölçülməsi prinsipi əsasında işləyir. Ölçülmüş vaxt intervalına əsasən sensorla su səthi arasındakı məsafə müəyyən edilir və bu məsafə kanalın konstruktiv xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla su səviyyəsinin cari qiymətinə çevrilir [5, s. 3–4]. Təmassız ölçmə üsulu açıq kanallarda çöküntülər, yosunlaşma və mexaniki təsirlər nəticəsində yaranan ölçmə xətalalarının qarşısını almağa imkan verir. Sensorun mühüm üstünlüklərindən biri ölçmə nəticələrinin 4-20 mA analoq çıxış siqnalı şəklində formalaşdırılmasıdır. Aşağı həddin 4 mA səviyyəsində formalaşdırılması xətt qırılması və sensor nasazlığı hallarının operativ aşkarlanmasına şərait yaradır [9, s. 12–15].

Açıq kanal sistemlərində sərfin təyini səviyyə ölçmələrinə əsaslanan əvvəlcədən müəyyən edilmiş hidravlik asılılıqlar vasitəsilə həyata keçirilir. Bu yanaşma Parshall flumları, V-şəkilli ölçmə bəndləri və digər açıq kanal qurğularında geniş tətbiq olunur. Beləliklə, LU240 sensoru səviyyə ölçmələri əsasında yalnız su hündürlüyünün deyil, həm də həcm və həcm sərfinin avtomatik hesablanmasına imkan yaradır.

Ətraf mühit temperaturunun dəyişməsi ultrasəs ölçmələrində siqnalın yayılma sürətinə təsir göstərə bildiyindən ölçmə xətalalarının yaranmasına səbəb ola bilər. SITRANS LU240 ultrasəs səviyyə sensorunda temperatur kompensasiyası daxili şəkildə reallaşdırılmışdır və istehsalçı tərəfindən ölçmə alqoritminin temperatur diapazonu üzrə avtomatik korrektə edildiyi göstərilir [10].

Temperatur kompensasiyası ölçmə nəticələrinin müxtəlif iqlim və mövsüm şəraitlərində stabilliyini təmin edir və açıq su kanalları üçün vacib texniki üstünlük hesab olunur.

Ultrasəs ölçmələrində səsin havada yayılma sürətinin temperaturdan asılılığı aşağıdakı yaxınlaşma ilə ifadə olunur [11, s. 58–62]:

$$c(T) = 332 + 0.6T$$

burada T – temperaturdur ($^{\circ}\text{C}$).

Beləliklə, SITRANS LU240 ultrasəs səviyyə sensorunun tətbiqi açıq su kanallarında səviyyənin fasiləsiz və etibarlı ölçülməsini, səviyyə əsasında sərfin avtomatik hesablanması və ölçmə məlumatlarının sənaye tipli idarəetmə sistemlərinə ötürülməsini təmin edən funksional və etibarlı texniki həll kimi qiymətləndirilə bilər.

Açıq su kanallarında su sərfinin təyini birbaşa ölçülən su səviyyəsi ilə kanalın hidravlik xüsusiyyətləri arasında mövcud olan asılılıqlara əsaslanır. Ölçmə-idarəetmə sistemində SITRANS LU240 ultrasəs sensoru vasitəsilə əldə edilən səviyyə məlumatları $h(t)$ əvvəlcədən müəyyən edilmiş hidravlik modellərə uyğun olaraq su sərfinin $Q(t)$ hesablanması üçün istifadə olunur [7].

Açıq kanallarda sərfin hesablanması məqsədilə Parshall flumları, V-şəkilli ölçmə bəndləri və digər standart hidravlik qurğular üçün qəbul edilmiş empirik və ya analitik ifadələr tətbiq edilir. Bu ifadələrdə sərf qiyməti ölçülən səviyyə göstəricisinin qeyri-xətti funksiyası kimi təyin olunur və

kanalın geometrik parametrləri nəzərə alınır. Belə yanaşma beynəlxalq normativ sənədlərdə və hidrometrik təcrübədə geniş istifadə olunur [8, s. 150–160].

LU240 sensorundan daxil olan səviyyə siqnalları mikroprosessorlu idarəetmə blokunda rəqəmsal formaya çevrilir və proqram təminatında reallaşdırılmış alqoritm vasitəsilə cari sərf qiyməti hesablanır. Hesablanmış sərf məlumatları real vaxt rejimində monitoring üçün istifadə olunur və texnoloji prosesin avtomatik idarə olunması məqsədilə növbəti idarəetmə səviyyəsinə ötürülür.

Beləliklə, səviyyə ölçmələri əsasında su sərfinin avtomatik hesablanması ölçmə prosesinin operativliyini artırır, insan faktorundan asılılığı azaldır və açıq su kanallarında su ehtiyatlarının səmərəli idarə olunmasına imkan yaradır.

SITRANS LU240 ultrasəs səviyyə sensorundan alınan ölçmə məlumatları sənaye avtomatlaşdırılmasında geniş tətbiq olunan 4-20 mA analoq cərəyan siqnalı şəklində formalaşdırılır. Bu tip siqnal ötürülməsi uzun məsafələrdə yüksək səs-küyə və elektromaqnit maneələrə davamlılığı ilə seçildiyindən ölçmə sistemlərinin etibarlılığını artırır. Lakin mikrokontroller əsaslı idarəetmə qurğularında analoq girişlər gərginlik siqnalları ilə işlədiyindən 4-20 mA cərəyan siqnalının uyğun gərginlik diapazonuna çevrilməsi zəruridir [5].

Bu məqsədlə ölçmə dövrəsində cərəyan-gərginlik çeviricisi tətbiq olunur və ölçmə siqnalı mikrokontrollerin analoq-rəqəm çeviricisinin (ARÇ) qəbul edə biləcəyi gərginlik diapazonuna uyğunlaşdırılır. Çevirici mərhələsi yalnız siqnalın uyğunlaşdırılmasını deyil, eyni zamanda ölçmə xəttində yaranan elektromaqnit təsirlərin və impuls xarakterli maneələrin azaldılmasını da təmin edir. Bunun üçün analoq dövrdə filtrasiya elementlərindən istifadə olunaraq ölçmə siqnalının sabitliyi və ölçmə dəqiqliyi artırılır [12].

İlkin analoq emal mərhələsində miqyaslama əməliyyatları həyata keçirilir və 4-20 mA diapazonu proqram təminatında emal üçün əlverişli ölçmə intervalına uyğunlaşdırılır. Nəticədə, çevrilmiş və filtrasiya olunmuş analoq siqnal mikrokontrollerin ARÇ moduluna ötürülərək rəqəmsal formaya çevrilir və növbəti mərhələdə proqram təminatı səviyyəsində emal olunur. Bu yanaşma ölçmə məlumatlarının dəqiqliyini və etibarlılığını artırmaqla yanaşı, açıq su kanallarında səviyyə və sərf ölçmələrinin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinə inteqrasiyasını təmin edir.

İlkin analoq çevirmə və siqnalın uyğunlaşdırılması mərhələsindən sonra ölçmə məlumatlarının emalı və idarəetmə qərarlarının formalaşdırılması mikroprosessorlu idarəetmə bloku vasitəsilə həyata keçirilir. Təklif olunan ölçmə-idarəetmə sistemində bu məqsədlə STM32 ailəsinə məxsus mikrokontroller tətbiq edilmişdir. Mikrokontroller ölçmə sisteminin bir elementi kimi çıxış edərək analoq-rəqəm çevirmə, ölçmə məlumatlarının proqram təminatı səviyyəsində emalı, nəticələrin yadda saxlanması və idarəedici siqnalların formalaşdırılması funksiyalarını yerinə yetirir [13 s. 215-220].

Mikrokontrollerin analoq-rəqəm çeviricisi vasitəsilə rəqəmsal formaya çevrilmiş ölçmə məlumatları proqram təminatında reallaşdırılmış zaman üzrə sürüşən orta alma (time-based moving average) rəqəmsal filtrasiya alqoritmi əsasında emal olunur [14, s. 277–284].

Şəkil 1-də açıq su kanalında səviyyə və sərfin ölçülməsi üçün təklif olunan ölçmə-idarəetmə qurğusunun modul sxemi təqdim edilmişdir. Modul sxemin əsas elementləri ultrasəs səviyyə sensoru SITRANS LU240, ölçmə-idarəetmə bloku, enerji təchizatı sistemi və məlumat ötürmə interfeysindən ibarətdir. Ultrasəs sensoru kanal üzərində yerləşdirilərək su səthinə impulsar göndərir və əks olunan siqnalın geri qayıtma vaxtına əsasən cari su səviyyəsini ölçür. Sensorun çıxışında formalaşan 4–20 mA analoq siqnal ölçmə-idarəetmə blokuna ötürülür və burada ilkin çevirmə və emal mərhələlərindən keçirilir. Ölçülmüş səviyyə məlumatları əsasında su sərfinin hesablanması həyata keçirilir və əldə olunan nəticələr monitoring və idarəetmə məqsədləri üçün istifadə olunur. Qurğunun enerji təchizatı günəş paneli və akkumulyator batareyası vasitəsilə təmin edilir ki, bu da sistemin elektrik şəbəkəsindən asılı olmadan, avtonom rejimdə işləməsinə imkan yaradır.

Şəkil 2-də təklif olunan sistemin struktur (prinsipial) sxemi göstərilmişdir. Struktur sxemə ultrasəs səviyyə sensoru, analoq siqnalın çevrilməsi və uyğunlaşdırılması bloku, mikroprosessorlu idarəetmə bloku, enerji təchizatı sistemi və icraedici mexanizmlərin idarə olunması üçün drayver daxildir.



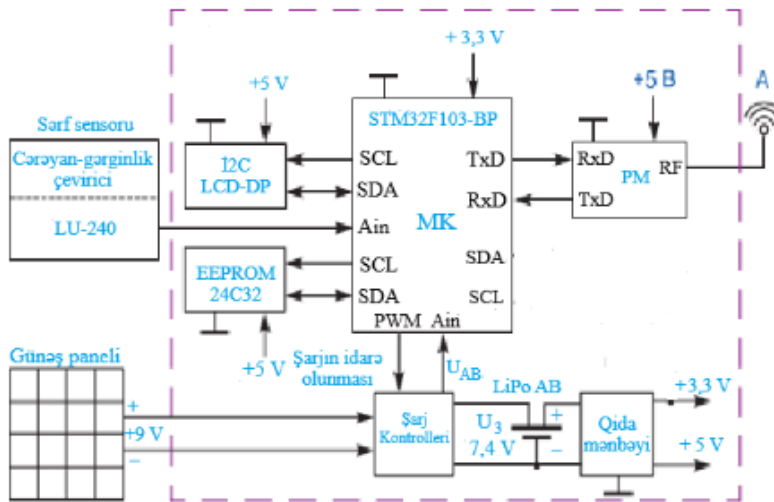
Şəkil 1. Kanalda yerləşdirilmiş LU240 ultrasəs sensoru

Ultrasəs sensorundan daxil olan 4-20 mA analoq siqnal cərəyan-gərginlik çeviricisi vasitəsilə mikrokontrollerin analoq girişlərinə uyğun gərginlik diapazonuna çevrilir. İlk analoq emal mərhələsində filtrasiya və miqyaslama əməliyyatları yerinə yetirilir. Emal olunmuş siqnal mikrokontrollerin analoq-rəqəm çeviricisinə ötürülərək rəqəmsal formaya çevrilir və proqram təminatı səviyyəsində emal olunur.

Hesablanmış sərf qiymətləri əsasında mikrokontroller tərəfindən idarəedici siqnallar formalaşdırılır və bu siqnallar drayver vasitəsilə tənzimləyici mexanizmlərin iş rejiminə təsir göstərir. Beləliklə, ölçmə və idarəetmə prosesləri vahid sistem çərçivəsində avtomatik şəkildə həyata keçirilir.

İlkin analoq çevrilmə və siqnalın uyğunlaşdırılması mərhələsindən sonra ölçmə məlumatlarının emalı və idarəetmə qərarlarının formalaşdırılması mikroprosessorlu idarəetmə bloku vasitəsilə həyata keçirilir [12]. Bu məqsədlə təklif olunan ölçmə-idarəetmə sistemində STM32 ailəsinə məxsus STM32F103 tipli mikrokontroller tətbiq edilmişdir.

STM32F103 mikrokontrolleri ölçmə-idarəetmə sisteminin mərkəzi funksional elementi kimi çıxış edərək analoq-rəqəm çevirmə, ölçmə məlumatlarının proqram təminatı səviyyəsində emalı, nəticələrin yadda saxlanması və idarəedici siqnalların formalaşdırılması funksiyalarını yerinə yetirir [12]. Mikrokontroller ARM Cortex-M3 nüvəsi əsasında qurulmuşdur və 72 MHz takt tezliyində işləmə imkanına malikdir ki, bu da ölçmə məlumatlarının real vaxt rejimində emalı üçün kifayət qədər hesablama məhsuldarlığını təmin edir [13, s. 22–30].



Şəkil 2. 4-20 mA çıxışlı LU240 sensoru əsasında su kanalında sərfin ölçülməsi və avtomatik idarə olunması üçün struktur sxemi

Rəqəmsallaşdırılmış ölçmə məlumatları mikrokontrollerin daxili operativ yaddaşında (SRAM) saxlanılır və proqram təminatında reallaşdırılmış alqoritm əsasında emal olunur. Bu mərhələdə ultrasəs sensoru vasitəsilə ölçülmüş səviyyə siqnallarının zaman üzrə dəyişməsi təhlil edilir, ölçmə səs-küyünün təsirinin azaldılması məqsədilə rəqəmsal filtrasiya üsullarından istifadə olunur və cari su sərfi qiyməti əvvəlcədən müəyyən edilmiş hidravlik hesablama modeli əsasında hesablanır [12].

Hesablanmış sərf qiymətləri mikrokontroller tərəfindən verilmiş normativ və texnoloji parametrlərlə müqayisə edilir və müqayisənin nəticəsindən asılı olaraq idarəedici siqnallar formalaşdırılır. Bu siqnallar mikrokontrollerin GPIO və zamanlayıcı (timer) modulları vasitəsilə drayverə ötürülür və nasosların və ya elektrikle idarə olunan tənzimləyici klapanların iş rejiminə təsir göstərir [11, s. 310–325].

STM32F103 mikrokontrollerinin periferiya modulları ölçmə nəticələrinin vizuallaşdırılması və yadda saxlanması funksiyalarını da təmin edir. PC interfeysi üzərindən qoşulmuş qrafik LCD displey vasitəsilə cari su səviyyəsi və hesablanmış su sərfi qiymətləri real vaxt rejimində əks olunur, EEPROM yaddaş qurğusunda isə kalibrəmə əmsalları və sistem parametrləri saxlanılır [12].

Bundan əlavə, STM32F103 mikrokontrollerinin USART interfeysi RF rabitə modulu ilə əlaqə yaradaraq ölçmə məlumatlarının uzaq məsafəyə ötürülməsinə və SCADA tipli yuxarı səviyyəli idarəetmə sistemlərinə inteqrasiyasına imkan verir. Mikrokontrollerin aşağı enerji sərfiyyatı və müxtəlif enerji qənaət rejimlərinin mövcudluğu qurğunun günəş paneli və akkumulyator əsasında uzunmüddətli avtonom istismarını təmin edən mühüm texniki üstünlük hesab olunur [13, s. 22–30].

Beləliklə, STM32F103 mikrokontrollerinin funksional və texniki imkanları təklif olunan ölçmə-idarəetmə sistemində ölçmə məlumatlarının real vaxt rejimində emalı, avtomatik idarəetmə qərarlarının formalaşdırılması və açıq su kanallarında su sərfinin stabil tənzimlənməsi üçün etibarlı texniki baza yaradır [11, s. 11–15].

Ölçmə məlumatlarının mikroprosessorlu idarəetmə blokunda emalından sonra su sərfinin tənzimlənməsi məqsədilə formalaşdırılan idarəedici siqnallar drayver modulu vasitəsilə icraedici mexanizmlərə ötürülür. Drayver modulu mikrokontrollerin aşağı səviyyəli idarəetmə siqnallarını nasos aqreqatları və ya elektrikle idarə olunan tənzimləyici klapanların işləməsi üçün tələb olunan gərginlik və cərəyan səviyyəsinə uyğunlaşdırır ki, bu yanaşma sənaye avtomatikasında aktuatorların idarə olunması üçün geniş tətbiq edilir [11, s. 115–130].

Açıq su kanallarında su sərfinin avtomatik tənzimlənməsi üçün icraedici mexanizm kimi ən çox nasos aqreqatları və solenoid tipli tənzimləyici klapanlardan istifadə olunur. Bu tip icraedici qurğuların birbaşa mikrokontrollerin çıxışlarından idarə edilməsi mümkün olmadığından, drayver mərhələsi vasitəsilə güc gücləndirilməsi və elektrik izolyasiyası həyata keçirilir [16, s. 55–75].

Drayver əsaslı idarəetmə strukturu ölçmə-idarəetmə sistemində qapalı dövrə prinsipinin reallaşdırılmasına imkan yaradır. Belə ki, mikrokontroller tərəfindən hesablanmış cari su sərfi normativ və ya texnoloji sərf göstəricisi ilə müqayisə edilir və yaranan fərq əsasında icraedici mexanizmin iş rejimi avtomatik olaraq tənzimlənir. Bu yanaşma proses avtomatikasında stabilliyin və etibarlılığın təmin edilməsi baxımından effektiv hesab olunur [15, s. 21–23].

Sənaye tətbiqlərində istifadə olunan drayver modulları yüksək cərəyanlı yük rejimlərində etibarlı işləmək üçün müxtəlif qoruyucu elementlərlə təchiz olunur. Bu elementlərə qısaqapanmadan mühafizə, induktiv yüklərdən yaranan geriye elektromaqnit impulslarının söndürülməsi (flyback protection) və istilik qorunması daxildir ki, bu da həm icraedici mexanizmlərin, həm də idarəetmə elektronikasının uzunmüddətli istismarını təmin edir.

Beləliklə, mikroprosessorlu idarəetmə blokunun drayver vasitəsilə nasos və ya tənzimləyici klapanlara təsir göstərməsi açıq su kanallarında su sərfinin avtomatik və çevik şəkildə tənzimlənməsinə imkan yaradır. Bu isə ölçmə nəticələrinə əsaslanan qərarların operativ icrasını təmin etməklə sistemin funksional etibarlılığını və idarəetmə dəqiqliyini artırır [15, s. 20–25].

Ölçmə-idarəetmə qurğusunun enerji təchizatı sistemi günəş paneli, şarj kontrolleri və akkumulyator batareyası əsasında təşkil edilmişdir. Günəş paneli vasitəsilə ətraf mühətdən alınan enerji akkumulyator batareyasında toplanaraq qurğunun fasiləsiz işləməsinə təmin edir. Bu yanaşma ölçmə-

idarəetmə sisteminin xarici elektrik şəbəkəsindən asılılığını aradan qaldırmaqla onun uzaq və çətin ölçətan ərazilərdə tətbiq imkanlarını genişləndirir.

Akkumulyator batareyasında toplanan enerji stabilizasiya olunmuş qida mənbəyi vasitəsilə ölçmə-idarəetmə qurğusunun funksional blokları üçün tələb olunan gərginlik səviyyələrinə uyğunlaşdırılır. Enerji təchizatı sistemində tətbiq olunan bu həll mikroprosessorlu idarəetmə blokunun, ölçmə modullarının, rabitə vasitələrinin və vizuallaşdırma qurğularının etibarlı və stabilləşdirilmiş enerji ilə təmin olunmasına imkan yaradır.

Günəş enerjisi əsasında qurulmuş enerji təchizatı sistemi ölçmə-idarəetmə qurğusunun uzunmüddətli avtonom istismarını təmin etməklə yanaşı, istismar xərclərinin azaldılmasına və sistemin ümumi etibarlılığının artırılmasına xidmət edir. Bu cür enerji təchizatı həlli açıq su kanalları, su anbarları və oxşar hidravlik obyektlərdə ölçmə və avtomatik idarəetmə sistemlərinin tətbiqi üçün məqsədəuyğun hesab olunur.

Nəticə. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, açıq su kanallarında su sərfinin fasiləsiz, dəqiq və operativ şəkildə ölçülməsi və tənzimlənməsi su ehtiyatlarının səmərəli idarə olunması baxımından mühüm elmi-texniki əhəmiyyətə malikdir. Məqalədə ultrasəs ölçmə prinsipinə əsaslanan SITRANS LU240 tipli səviyyə sensoru və STM32F103 mikrokontrolleri əsasında qurulmuş intellektual ölçmə-idarəetmə sisteminin strukturu və iş prinsipi işlənmişdir. Təklif olunan sistemdə ultrasəs sensoru vasitəsilə ölçülən su səviyyəsi məlumatları cərəyan-gərginlik çeviricisi və analoq-rəqəm çevirmə mərhələsindən sonra mikroprosessorlu idarəetmə blokunda proqram təminatı səviyyəsində emal olunmuş və açıq kanalın hidravlik xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla su sərfi müəyyən edilmişdir. Sistemin struktur sxemində simsiz rabitə modulunun tətbiqi ölçmə məlumatlarının real vaxt rejimində uzaq məsafəyə ötürülməsinə və yuxarı səviyyəli monitorinq sistemlərinə inteqrasiyasına imkan yaratmışdır. Günəş enerjisi və akkumulyator batareyası əsasında qurulmuş enerji təchizatı isə ölçmə-idarəetmə qurğusunun xarici elektrik şəbəkəsindən asılı olmadan, avtonom rejimdə uzunmüddətli istismarını təmin etmişdir. Aparılmış təhlillər göstərir ki, təklif olunan intellektual ölçmə-idarəetmə sistemi açıq su kanallarında su sərfinin ölçülməsi və tənzimlənməsi üçün funksional, çevik və iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun texniki həll hesab oluna bilər. Sistemin modullu quruluşu onun müxtəlif hidravlik obyektlərə uyğunlaşdırılmasına, sənaye avtomatikası və SCADA sistemləri ilə inteqrasiyasına geniş imkanlar yaradır. Gələcək tədqiqatlarda təklif olunan sistemin real istismar şəraitində uzunmüddətli sınaqlarının aparılması, müxtəlif kanal profilləri üçün hidravlik modellərin dəqiqləşdirilməsi və simsiz rabitə texnologiyalarının optimallaşdırılması məqsədəuyğun hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. ISO 1438:2008. Hydrometry – Open channel flow measurement using thin-plate weirs. Geneva, International Organization for Standardization, 2008, 22 p.
2. Həsənov A.B., Abbasov Z.A., Rzayev A.H., Yəhyayev V.F., Əliyev Y.Q., Rezvan M.H., Məmmədli M.İ. Xanbulançay su anbarından tələbatçıya verilən su sərfinin hesablanma alqoritmləri və sistemi. Su problemləri Elm və Texnologiyalar, 2025, №1, s. 126–134.
3. Rzayev A.H., Məmmədli M.İ. Kanallarda su sərfiyyatının empirik tənliklərlə hesablanma üsullarının tədqiqi. AzMİU-nun Elmi əsərləri, 2025, №1, s. 132–139.
4. Rzayev A.H., Məmmədli M.İ. Su sərfiyyatının ölçmə cihazları və üsullarının icmalı. SDU-nun Elmi xəbərləri, Təbiət və Texnika Elmləri Seriyası, 2025, №2, s. 63–67.
5. Siemens AG. SITRANS Probe LU240 – Ultrasonic Level Transmitter: Product Overview. Germany, Siemens Process Instrumentation 2024, 9 p.
6. Rantz S.E. et al. Measurement and Computation of Streamflow. Washington, U.S. Geological Survey 1982, Vol 1–2, 631 p.
7. ISO 18365:2013. Hydrometry – Selection, establishment and operation of a gauging station. Geneva, International Organization for Standardization, 2013, 11 p.
8. World Meteorological Organization (WMO). Guide to Hydrological Practices. Geneva, WMO-No.168, 6th Edition, 2008, 296 p.
9. Siemens AG. Operating Instructions: SITRANS Probe LU240 Ultrasonic Level Transmitter. Germany, Siemens Process Instrumentation, 2021, 255 s.

10. HyperPhysics, Georgia State University. Speed of Sound in Air. Available online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>, (Accessed: 16.01.2026).
11. Bolton W. Instrumentation and Control Systems. Oxford, Elsevier, 2009, 448 p.
12. Рзаев Ас.Г., Алиев Я.Г., Резван М.Г. Интеллектуальный межтранверсный месдозный динамограф штанговых глубинно-насосных установок. Измерительная техника, 2023, №10, с. 49–55.
13. STMicroelectronics. RM0008 Reference Manual – STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx Advanced ARM-based 32-bit MCUs. STMicroelectronics, 2021, 1136 p.
14. Smith S.W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California, California Technical Publishing, 1997, 640 p.
15. Aström K.J., Murray R.M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton, Princeton University Press, 2008, 408 p.
16. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. Oxford, Elsevier, 2019, 480 p.

LU240 ULTRASƏS SENSORU ƏSASINDA SU KANALLARINDA SƏRFİN ÖLÇÜLMƏSİ VƏ İDARƏETMƏ QURĞUSUNUN İŞLƏNİLMƏSİ

M.İ.Məmmədli

Xülasə. Məqalədə açıq su kanallarında su sərfinin ölçülməsi və avtomatik idarə olunması üçün mikroprosessor əsaslı intellektual ölçmə-idarəetmə sisteminin işlənilməsi məsələləri araşdırılmışdır. Təklif olunan sistem ultrasəs ölçmə prinsipinə əsaslanan LU-240 tipli səviyyə sensorunun 4-20 mA standart analoq çıxışı əsasında qurulmuşdur. Sensor tərəfindən formalaşdırılan analoq cərəyan signalı cərəyan-gərginlik çeviricisi vasitəsilə STM32F103 tipli mikrokontrollerin analoq girişinə ötürülür və burada rəqəmsallaşdırılaraq miqyaslaşdırılır. Ölçülən səviyyə qiymətləri açıq kanalın hidravlik xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla sərf qiymətlərinə çevrilir və proqram təminatı səviyyəsində emal olunur. Sistemin funksional quruluşuna ölçmə modulu, mikroprosessorlu emal bloku, EEPROM yaddaş qurğusu, I2C interfeysli qrafik LCD display, RF rabitə modulu və enerji təchizatı bloku daxildir. Qurğunun enerji təminatı günəş paneli və litium-polimer akkumulyator əsasında təşkil edilmişdir ki, bu da onun xarici enerji mənbəyindən asılı olmadan uzunmüddətli və fasiləsiz işləməsini təmin edir. Ölçmə məlumatlarının uzaq məsafəyə ötürülməsi və SCADA sistemlərinə inteqrasiya imkanları da nəzərə alınmışdır. Təklif olunan intellektual qurğu açıq su kanallarında, su anbarlarında və oxşar hidravlik obyektlərdə sərfin ölçülməsi və avtomatik idarə olunması üçün effektiv və iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun həll kimi tövsiyə edilə bilər.

Açar sözlər: su sərfi, LU-240, ultrasəs sensoru, STM32F103, SCADA.

Accepted: 02.06.2026