

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მალხაზ ჯაბუა

მაღალი წარმადობის SCADA სისტემა კრისტალური
სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვისათვის

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ინფორმატიკა“, შიფრი 0401

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტში და გერმანიის იულიხის სამეცნიერო კვლევით ცენტრში.

ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი ლევან იმნაიშვილი

რეცენზენტები: პროფ. ნუგზარ ყავლაშვილი

პროფ. ბაადურ ჭუნაშვილი

დაცვა შედგება 2016 წლის 22 ივლისს, 16:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი IV, აუდიტორია 401

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: სრული პროფესორი თინათინ კაიშაური

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

დღეისათვის სხვადასხვა სახის ტექნოლოგიური თუ საწარმოო პროცესების ეფექტური წარმართვა შეუძლებელია მომსახურე კომპიუტერული სისტემების გარეშე. დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) დღესდღეობით წარმოადგენს რთული დინამიური პროცესების მართვის ყველაზე ეფექტურ და პერსპექტიულ საშუალებას. სწორედ დისპეტჩერული მართვის პრინციპებზე იგება მსხვილი ავტომატიზირებული სისტემები და საწარმოები ენერგეტიკაში, მანქანათმშენებლობაში და მრავალ სხვა სფეროში, სხვადასხვა ტიპის კვლევითი თუ გამოყენებითი პროცესების სამართავად. SCADA სისტემები გამოიყენება უსაფრთხოებისა და საიმედოობის მხრივ ყველაზე კრიტიკულ და სასიცოცხლო მნიშვნელობის სფეროებშიც.

SCADA არის დროის რეალურ რეჟიმში დაშორებული წერტილიდან ინფორმაციის ამოკითხვის პროცესი დამუშავების, ანალიზისა და ობიექტის/პროცესის მართვის მიზნით.

SCADA სისტემა არ გულისხმობს რომ აუცილებლად უნდა მოხდეს ტექნოლოგიური პროცესის მართვა. ამ სისტემის მეშვეობით შესაძლებელია მხოლოდ მონიტორინგის განხორციელება. მაგალითად, SCADA სისტემას შეიძლება დაეკისროს ტექნოლოგიური პროცესის მახასიათებელი პარამეტრების მონიტორინგი და არავითარ მართვას არ ჰქონდეს ადგილი. აქ შეიძლება იყოს ტემპერატურული მონიტორინგი, ვაკუუმის დონის მონიტორინგი და ა. შ.

SCADA სისტემა არ არის ჩვეულებრივი კომპიუტერული ქსელი. ეს არის ე.წ. განაწილებული კომპიუტერული სისტემა (DCS - Distributed Control System). სისტემის შემადგენელი სამართავი ობიექტები არ არიან მოთავსებულნი ერთ კონკრეტულ ადგილას, არამედ გაშლილნი არიან სივრცეში და მათ შორის კავშირი ხორციელდება დისტანციურად.

ჩვეულებრივი კომპიუტერული ქსელისაგან განსხვავებით მოწყობილობები და კონტროლერები ამ დროს დაკავშირებულნი არიან საკომუნიკაციო სისტემებით.

დღესდღეობით, ტექნოლოგიების განვითარების გამო თანდათან იშლება საზღვრები ჩვეულებრივ კომპიუტერულ ქსელებსა და განაწილებულ კომპიუტერულ სისტემებს შორის.

თანამედროვე სისტემებში მართვის პროცესს გააჩნია თავისებურებები: SCADA გამოიყენება ისეთ სისტემებში, სადაც აუცილებელია ადამიანის არსებობა; პროცესი SCADA დამუშავებული იქნა ისეთი სისტემებისათვის, სადაც ნებისმიერმა არასწორმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს მართვის ობიექტის მტყუნება (დაკარგვა) ან სულაც კატასტროფული შედეგი. ასეთი სისტემა ისეთნაირად უნდა აიგოს, რომ მომსახურე პერსონალის/ოპერატორის ერთჯერადი შეცდომა არ აისახოს მთლიანი სისტემის ფუნქციონირებაზე, ანუ SCADA სისტემა მაქსიმალურად გამორიცხავს ოპერატორის დაუდევრობით გამოწვეულ შეცდომებს. ნორმალურ პირობებში სისტემა ზოგჯერ მოითხოვს პარამეტრების დაყენებას ოპტიმალური მწარმოებლურობის მისაღწევად; მართვის პროცესში ოპერატორის ჩარევა ხდება იშვიათად და დროის არაპროგნოზირებად მომენტებში, როცა წარმოიქმნება კრიტიკული მოვლენები (მტყუნებები, არასაშტატო სიტუაციები და ა.შ.). კრიტიკულ სიტუაციებში ოპერატორის ქმედებები შესაძლოა მკაცრად იყოს შეზღუდული დროის მიხედვით (რამოდენიმე წუთით ან თუნდაც წამით).

აღსანიშნავია, რომ SCADA სისტემებში ცენტრალური ადგილი უჭირავს ადამიან-ოპერატორს და მის ამოცანებს. ამიტომ აუცილებელია, რომ სამომხმარებლო ინტერფეისი ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის აკმაყოფილებდეს ერგონომიკის ყველა მოთხოვნას. სამომხმარებლო ინტერფეისზე ასახული ინფორმაცია, ყველანაირი პირობითი აღნიშვნა უნდა იყოს წარმოდგენილი ადამიანისათვის გასაგებ ფორმაში.

SCADA სისტემები წყვეტენ შემდეგ ამოცანებს:

- მონაცემთა გაცვლა საწარმოო კონტროლერებსა და შეყვანა/გამოყვანის პლატებთან დროის რეალურ რეჟიმში დრაივერების მეშვეობით.
- ინფორმაციის დამუშავება რეალური დროის რეჟიმში.
- ინფორმაციის ასახვა მონიტორზე ადამიანისათვის გასაგებ ფორმაში.
- მონაცემთა არქივირება დროის რეალურ რეჟიმში.
- ავარიული სიგნალიზაცია და საგანგაშო შეტყობინებების მართვა.
- ანგარიშების მომზადება ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის შესახებ.
- ქსელური ურთიერთკავშირის დამყარება პერსონალურ კომპიუტერთან.
- კავშირი შიდა გამოყენებით პროცესებთან (მონაცემთა ბაზა, ელექტრონული ცხრილები და ა.შ.).

SCADA სისტემების მეშვეობით შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ავტომატიზირებული სისტემების დამუშავება კლიენტ-სერვერული ან განაწილებული არქიტექტურით.

წარმოდგენილი ნაშრომის **კვლევის მიზანს** წარმოადგენს SCADA სისტემის საშუალებით გერმანიის იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრის მონიტორინგი და მართვა, სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სხივების ენერგიების ზემაღალი სიზუსტით (10-20 მილიელექტრონვოლტი) გასაზომად. ეს თავის მხრივ გულისხმობს მაღალწარმადი და საიმედო SCADA სისტემის დაპროექტების კონკრეტული მიდგომების, მეთოდების დამუშავებას, ასევე სპექტრომეტრის მართვის და ავტომატიზების ეფექტური ალგორითმების შემუშავებას სასურველი ექსპერიმენტული შედეგების მისაღებად. იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრით შესრულებული სამუშაო წარმოადგენს ექსპერიმენტული გაზომვების სერიას, რომლის დროს სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთში (მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში კვლევა მიმდინარეობდა მანგანუმზე) წარმოქმნილი ფლოუორესცენციური რენტგენის სხივების არეკვლა ხდება

სპექტრომეტრის კვარცული კრისტალიდან, რის შედეგადაც ისინი პოზიციონირდებიან ნახევარგამტარულ დეტექტორზე, რომელიც მგრძობიარეა რენტგენის სხივების მიმართ და მათი ენერგიების გამოთვლის საშუალებას იძლევა.

პროცესის სპეციფიკიდან გამომდინარე მოცემული ამოცანის შესრულება შესაბამისი დონის SCADA სისტემის გარეშე შეუძლებელია. სადისერტაციო ნაშრომში დასახული მიზნის მიღწევისათვის გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- შემუშავებულია SCADA სისტემის მაღალწარმადობის შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც მისადაგებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მოთხოვნილებებთან.
- დამუშავებულია სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების მართვის მოქნილი ალგორითმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ კომპონენტების და საერთო ჯამში სპექტრომეტრის შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას და იმ შედეგების მიღწევას, რაც გულისხმობს რენტგენის სხივების ენერგიების ზემადალი სიზუსტით განსაზღვრას.
- ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის წარმადობის დამაბრკოლებელი ფაქტორები და დამუშავებულია აპარატურულ-პროგრამული უზრუნველყოფები სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის ასამაღლებლად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ერთის მხრივ სპექტრომეტრის მომსახურე მაღალწარმადული SCADA სისტემის არქიტექტურა, რომელიც დაგეგმარდა და რეალიზდა სპეციალურად იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის კომპიუტერული მონიტორინგისა და მართვისათვის, მაღალი წარმადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების კვლევა და მათი პრაქტიკული იმპლემენტაციის საკითხები, ხოლო მეორეს მხრივ, მოცემული სპექტროსკოპით შესასრულებელი

ექსპერიმენტული გაზომვები, რომლის მიზანია სხვადასხვა ქიმიური შენაერთისათვის დამახასიათებელი რენტგენული სპექტრების მიღება და შესაბამისი ენერგიების ზემადალი სიზუსტით განსაზღვრა, რაც თავის მხრივ ეფექტურად ფუნქციონირებადი SCADA სისტემის გარეშე არ მიიღწევა. კვლევითი სამუშაოს ფარგლებში მუშაობა მიმდინარეობდა სპექტრომეტრის აპარატურულ კომპონენტებთან სამუშაო დახვეწილ პროგრამულ ალგორითმებზე, რომლებსაც უნდა უზრუნველყოთ რენტგენის სხივების ზეზუსტი და სტაბილურად უცვლელი კუთხით პოზიციონირება ნახევარგამტარული დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე, რაც მათი ენერგიების ზეზუსტი განსაზღვრისთვის აუცილებელია. *სამუშაოში გამოყენებულია ერგონომიკის, ალგორითმების თეორიის, დეტექტორული სისტემების, კრისტალოგრაფიის თანამედროვე მეთოდები და კონცეფციები.*

სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს სისტემური ანალიზის და იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრით ჩასატარებელი ექსპერიმენტული მოთხოვნების საფუძველზე მაღალწარმადი SCADA სისტემის არქიტექტურის და სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმების დამუშავება. ასევე სიახლეს წარმოადგენს სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სხივების ზემადალი სიზუსტით გაზომვის შემუშავებული მეთოდი, რაც უნიკალურია და გამოირჩევა ამ სფეროში მომუშავე სამეცნიერო ჯგუფების მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგებისაგან. *სამუშაოში მიღწეულია შემდეგი პრაქტიკული შედეგები:*

- დამუშავებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა.
- დამუშავებულია მომსახურე SCADA სისტემაში წარმადობის ამაღლების მეთოდი.

- დამუშავებულია რენტგენული სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმები და მათი მართვისა და მონიტორინგის პოლიტიკა.
- მიღწეულია რენტგენის სხივების ენერგიების განსაზღვრის ზემადალი სიზუსტე, რაც წარმოადგენს პრეცედენტს (10-20 მილიელექტრონვოლტი).

სამუშაოს თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. სამუშაოს თეორიული მნიშვნელობა მდგომარეობს SCADA სისტემების დაპროექტების მეთოდების განვითარებაში, რომლების საშუალებას იძლევიან ამაღლდეს ამ სისტემების წარმადობა, რაც მნიშვნელოვანი პარამეტრია ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტური მართვისა და მონიტორინგისათვის. დაპროექტებული SCADA სისტემის საშუალებით იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრით გაზომილი რენტგენული სპექტრების ანალიზის შემუშავებული მეთოდოლოგია საშუალებას იძლევა რენტგენული სხივების ენერგიები გაზომილ იქნეს ზემადალი სიზუსტით.

სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში ჩატარებული კვლევითი სამუშაოების შედეგად მიღწეულია SCADA სისტემის პროგრამულ-აპარატურული სისტემის რეალიზაცია რენტგენის სხივების მაღალი სიზუსტით დასაფიქსირებლად და გასაზომად. რენტგენული სპექტროსკოპია ძალიან მნიშვნელოვანი მეთოდია, როგორც ადამიანის ორგანიზმის შესასწავლად, ასევე სხვადასხვა ნივთიერებების იდენტიფიცირებისა და კვლევისთვის. ჩატარებული პრაქტიკული კვლევები და მიღებული შედეგები იძლევა დაპროექტებული სისტემის ფართოდ დანერგვის და სხვადასხვა კვლევით ცენტრებში მისი ადაპტაციის დიდ პერსპექტივას. ასევე საინტერესო მიმართულებაა მედიცინის სფეროში და მასალათმცოდნეობაში. ჩატარებული გაზომვების დიდი უპირატესობაა მაღალი, ულტრაზღვრული სიზუსტე, რაც იშვიათობას წარმოადგენს თანამედროვე ექსპერიმენტებში, რადგან გაზომვების შემუშავებული

მეთოდი უნიკალურია და პრაქტიკული ექსპერიმენტებით არის დადასტურებული მისი ეფექტურობა.

დისერტაციის შედეგები რეალიზებულია:

- გერმანიის იულიხის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ბირთვული კვლევების ინსტიტუტის (IKP-2) მიერ კრისტალურ სპექტრომეტრზე შესრულებული ექსპერიმენტული გაზომვების ფარგლებში (2014-2016 წწ).
- შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის და იულიხის კვლევითი ცენტრის ერთობლივი კვლევით-საგანმანათლებლო საგრანტო პროექტი #09/27 „ტექნოლოგიურ და ექსპერიმენტული კვლევის დანადგარებში ფიზიკური პროცესების კომპიუტერული მონიტორინგი და მართვა“.

სამუშაოს აპრობაცია: დისერტაციასთან დაკავშირებული საკითხები ასახულია 3 სამეცნიერო პუბლიკაციაში და განხილულია შემდეგ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

- სტუდენტთა 82-ე ღია სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2014 წელი.
- Georgian-German school and workshop in basic science, Tbilisi, 2012.
- Georgian-German school and workshop in basic science, Tbilisi, 2014.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft, Heidelberg, Germany, 2015.
- Colloquium Spectroscopicum Internationale, Coimbra, Portugal, 2015.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft, Hannover, Germany, 2016.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის, ორი თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომის ძირითადი

მოცულობა შეადგენს ნაბეჭდი ტექსტის 160 გვერდს, ლიტერატურის ნუსხა მოიცავს 54 დასახელების ბიბლიოგრაფიულ წყაროს.

Abstract

Nowadays control and monitoring of different types of physical, chemical or technological processes are impossible without computer systems. Computers are actively involved in every phase of the development of these processes. It is worth to note the growing role of the distributed computer systems, which example is the Supervisory Control And Data Acquisition system (SCADA). This system represents a very flexible and a pliable instrument for the complete automation of the technological or industrial processes and provides effective way for their monitoring and control.

Proper running cycle of the technological process requires a computerized monitoring and control. Monitoring means the measurement and observation of several parameters characterizing the process itself. These parameters can be displayed on the computer screen in numerical or analog (graphics, histograms) format and can be archived in a data base in a regular time interval. This approach ensures the proper control of the running technological process. In case of failures the data saved in database makes possible to identify the reason which caused the inconveniences.

Optimal run of the technological process requires not only the monitoring, but also its control. This foresees the regulation of the operating parameters of the process which has to be controlled, switching on and off the hardware resources, optimizing the parameters' set-up. This approach helps the personnel serving the system to have a proper imagination on the whole cycle of the technological process. Control also means the elaboration of the proper mechanism which has to guarantee that the operating parameters of the system don't exceed the thresholded values which are defined in advance. In case if this happens an alarm has to inform the user about the extraordinary and probably threatening situation. Firstly the SCADA system tries to normalize the operating parameters itself, if this is beyond its capabilities, then it alerts the user to make corresponding decisions. This mechanism is a preventive way to avoid the unforeseen situations and possible disrupt of the cycle of technological process.

Supervisory Control and Data Acquisition systems are on a developing stage. Several general models are drawn, instructing how to project the high-productive monitoring and control systems. Different approaches of enhancing the performance of this type of systems exist already, but, nevertheless, a specific recipe how to optimize the functioning of the SCADA systems depends particularly on the type of the process that has to be automatized, monitored and controlled.

The purpose of the research conducted in a frame of this dissertation was the projection and development of the highly productive SCADA system for the

monitoring and control of the high-resolution crystal spectrometer at Jülich scientific research centre in Germany. This spectrometer has a capability to detect the fluorescence X-rays by using the Charge Coupled Device (CCD) with high resolution and measure the corresponding energies at high precision (few millielectronvolts of accuracy). X-rays are generated from X-ray tube, which bombard the target compounds. During this process secondary, fluorescence X-rays are produced, which are reflected by Bragg crystal and then detected by the CCD semiconductor detector.

It is important to mention, that the solution of this challenging exercise would be impossible without using the appropriate high-productivity SCADA system, which has been projected in a frame of current PhD research work. This system ensures the high-precision setup of the spectrometer crystal angle, its vertical and horizontal positioning, the distance setup between the crystal and the detector (focal distance) and their maintenance at extremely high precision (for an angle maximum 10 seconds of arc of precision, for the focal distance tenth of millimeters). The monitored data are continuously archived for further analysis. The projected SCADA system was completely adapted to the requirements and demands of the Jülich crystal spectrometer and resulted in the high-level monitoring and control system, pronounced by its high productivity and stability which ensures that the capabilities of the crystal spectrometer are fully realized and effectively managed.

Experimental measurements done at Jülich research centre proved the flexibility and the high performance of the projected SCADA system, efficiency of the applied engineering decisions and the accuracy of the gained scientific results. Using this SCADA system adapted to the X-ray spectrometer set-up, X-ray energies from several chemical compounds have been measured at high precision. Through the modern algorithmic approaches and the appropriate monitoring and control politics, the risk of delays in a functionality of the projected SCADA system has been minimized.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის /Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) სისტემები. აღწერილია მათი ძირითადი სტრუქტურა, ამოცანები, მათ მიმართ წაყენებული მოთხოვნები, რაც მათ გამოყენებას განსაკუთრებით ეფექტურს ხდის. ნაჩვენებია SCADA სისტემების ღირსებები, მათი უპირატესობები და გამოყენების სფეროები. ყურადღება გამახვილებულია, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემების გამოყენებას თანამედროვე საწარმოო, ტექნოლოგიური თუ ნებისმიერი პროცესის სრულყოფილი ავტომატიზაციისათვის. გაკეთებულია SCADA სისტემებში გამოყენებული ყველაზე გავრცელებული კავშირის არხების და მონაცემთა გადაცემის მეთოდების მიმოხილვა და მათი შედარებითი ანალიზი. ხაზგასმულია თანამედროვე SCADA სისტემების სუსტი მხარე - წარმადობასთან დაკავშირებული პრობლემები, გაანალიზებულია პრობლემის არსი და მასზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები.

სისტემის წარმადობა ზოგადი გაგებით განისაზღვრება როგორც, დროის ერთეულში შესრულებული ოპერაციების რაოდენობა. ის ხასიათდება შესრულებული სასარგებლო სამუშაოს ფარდობით დროსთან და გამოყენებულ რესურსებთან.

თანამედროვე SCADA სისტემების ნაკლოვანებას წარმოადგენს სწორედ წარმადობის შედარებით დაბალი დონე. *მოცემულ ნაშრომში შემუშავებული მეთოდები და ალგორითმები ცხადყოფენ, რომ წარმადობის გაზრდა შესაძლებელია და მისი ამაღლების კონკრეტული გზები დამოკიდებულია უშუალოდ იმ პროცესის ბუნებაზე, რომლის ავტომატიზება (მართვა და მონიტორინგი) უნდა მოხდეს.*

კონტექსტიდან გამომდინარე სისტემის წარმადობის შეფასება ხდება შემდეგი კრიტერიუმებით:

- მოცემულ სამუშაოზე რეაქციის მცირე დრო. (სამუშაოს შესრულების მოთხოვნის დამუშავება და პასუხის გაცემა უნდა მოხდეს სწრაფად.)
- საკომუნიკაციო არხებში მონაცემთა მაღალი გამტარუნარიანობა.
- სისტემაში გამოყენებული აპარატურული რესურსების გადატვირთულობის ხარისხი.
- აპარატურული და პროგრამული უზრუნველყოფის თანაზომადობა შესასრულებელ ამოცანებთან. (მათი დაგეგმარება უნდა მოხდეს ისე, რომ ნებისმიერ დროს შეეძლოთ სისტემაში გენერირებული ამოცანებისთვის თავის გათმევა დაბრკოლებების გარეშე.)
- მონაცემთა კომპრესირების / დეკომპრესირების სისწრაფე და მოქნილობა.
- სისტემის კომპონენტებს შორის მონაცემთა გაცვლის სისწრაფე.

კომპიუტერული საკომუნიკაციო სისტემების წარმადობა ფასდება ზემოთხსენებული ტექნიკური საზომებით / კრიტერიუმებით, ამ მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია:

- შედარდეს სხვადასხვა სისტემების წარმადობა, ან ერთი სისტემის წარმადობა მასში ცვლილებების / მოდიფიცირების განხორციელებამდე და შემდგომ.
- შეფასდეს სისტემის მიერ მასზე დაკისრებული მოვალეობების შესრულების ხარისხი, ანუ სათანადო სისწრაფით ასრულებს თუ არა სისტემა ამოცანებს და ართმევს თუ არა თავს შესაძლო წარმოქმნილ არასტანდარტულ / განსაკუთრებულ სიტუაციებს ისე, როგორც ეს უნდა ხდებოდეს.

თანამედროვე კომპიუტიზირებული საინფორმაციო სისტემები გამოირჩევიან რთული სტრუქტურით, რაც დაკავშირებულია კომპიუტერული ქსელების, განაწილებული სისტემების, ჰეტეროგენური მონაცემთა ბაზების არსებობასთან. ამასთან აუცილებელია დიდი რაოდენობით ინფორმაციის ყოველდღიური კომპიუტერული სისტემების

შეფერხება ან მწყობრიდან გამოსვლა იწვევს მთელ რიგ უხერხულობებს და უსიამოვნებებს მომხმარებლისთვის.

მნიშვნელოვანია, რომ კომპიუტერული საინფორმაციო სისტემის დაგეგმარება-დაპროექტება მოხდეს ისე, რომ საბოლოო პროდუქტმა არ აჩვენოს არც ფუნქციონალური და არც წარმადობის მხრივ პრობლემები. საჭიროა, ასევე წინასწარ გაითვალოს წარმადობის შესაძლო მაჩვენებლები, ასევე პრობლემების წარმოშობის შემთხვევაში განისაზღვროს წარმადობის შემცირების დონე. ეს კი საჭიროებს წარმადობის მოდელების შემუშავებას. ამ მოდელის შემავალი სიდიდეებია: შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა, პროგრამული და აპარატურული კონფიგურაციის, გამოსაყენებელი რესურსების პარამეტრები - ხოლო გამომავალი სიდიდეებია: შეპასუხების დრო, მონაცემთა გაცვლის სისწრაფე და ქსელის გამტარუნარიანობა, სისტემების გადატვირთულობა, რიგების (შესასრულებელი ამოცანების წყება) ორგანიზაციის დონე. არსებობს წარმადობის შეფასების მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან წინასწარ გაითვალოს სისტემის წარმადობაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები, განისაზღვროს მათი ზემოქმედების ხარისხი და სამართავი სისტემა დაგეგმარდეს ისე, რომ წარმადობასთან დაკავშირებული პრობლემები იყოს რაც შეიძლება ნაკლები. სადოქტორო ნაშრომის პირველ თავში განხილულია ზემოთნახსენები მოდელები და გაკეთებულია მათი შედარებითი ანალიზი.

მეორე თავში მიმოხილულია SCADA სისტემებში ფართოდ გავრცელებული Modbus პროტოკოლი. გამოანგარიშებულია მოწყობილობების გამოკითხვისათვის საჭირო დროითი მნიშვნელობი რეალურ მაგალითზე. გაანალიზებულია მოცემული პროტოკოლის გამოყენებისას SCADA სისტემის წარმადობის დამაბრკოლებელი ფაქტორები და შემოთავაზებულია მისი ამაღლების კონკრეტული მიდგომები.

მოცემულ თავში განხილულია ელექტროქსელის მონიტორინგის და მართვის SCADA სისტემაში გამოყენებული პოპულარული მულტიფუნქციური გამზომი ხელსაწყო Modbus საკომუნიკაციო პროტოკოლთან მუშაობის საკითხები. დამუშავებულია ხელსაწყოს წარმადობის (მწარმოებლურობის) ამაღლების ალგორითმი, რაც თავის SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლების წინაპირობაა. გამოკვლევის ობიექტის სახით აღებულია ელექტროქსელის პარამეტრების ანალიზის მულტიფუნქციური ხელსაწყო N14 (მწარმოებელი LUMEL S.A.). იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლების მეთოდი დამუშავდა მოცემული მულტიფუნქციური ხელსაწყოს მაგალითზე.

თანამედროვე SCADA სისტემებში აქტუალურია წარმადობის ამაღლების პრობლემატიკა. განსაკუთრებით ეს ეხება ტექნოლოგიური პროცესების მონიტორინგისა და მართვის სისტემებს, რომლებშიც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სწრაფქმედებას. საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესების სრულმა ავტომატიზაციამ ერთის მხრივ აამაღლა მათი ხარისხი და საიმედოობა, მაგრამ მეორეს მხრივ, თანამედროვე ინტელექტუალური მოწყობილობების შესაძლებლობების არასათანადოდ, არასრულყოფილად გამოყენებამ წინა პლანზე წამოწია სწრაფქმედების ამაღლების აუცილებლობა. საწარმოო თუ ნებისმიერ სფეროში მიმდინარე პროცესების მართვის ტექნოლოგიური გადაწყვეტის დონე (ალგორითმიზაცია, გამოყენებული საკომუნიკაციო პროტოკოლები, პრაქტიკული რეალიზაცია) მკვეთრად ჩამორჩება მართვისა და მონიტორინგის პროცესში მონაწილე მოწყობილობების შესაძლებლობებს და განვითარების ხარისხს, რაც მათი შესაძლებლობების არაოპტიმალურ გამოყენებას იწვევს და საბოლოო ჯამში აისახება ტექნოლოგიური პროცესის წარმადობაზე.

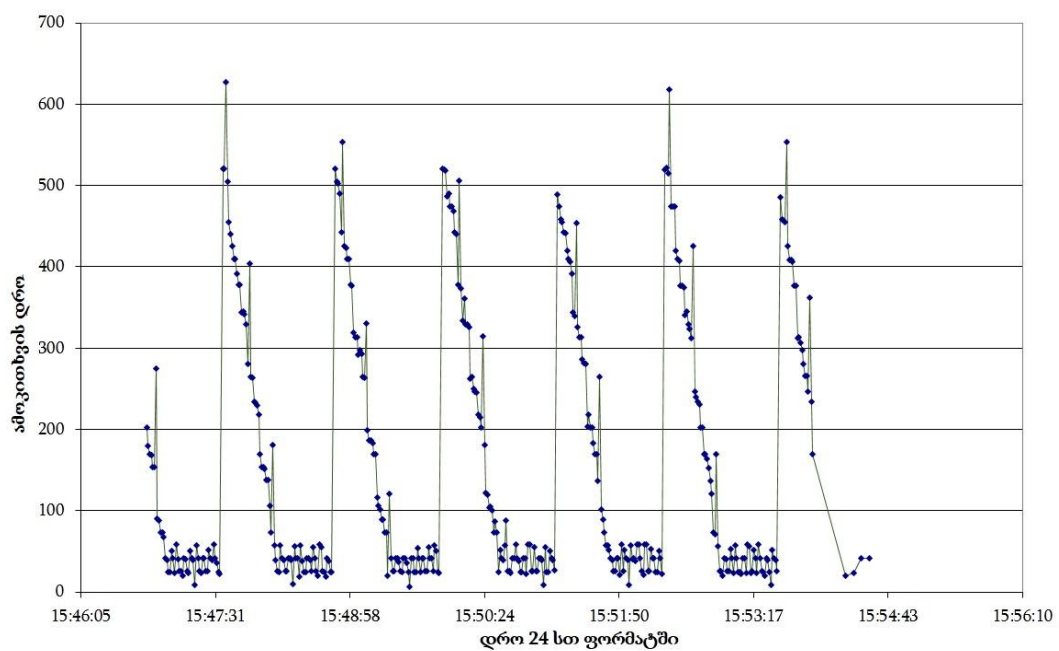
ხელსაწყო N14 წარმოადგენს პროგრამირებად ციფრულ მულტიფუნქციურ მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია სამფაზა, სამ

ან ოთხგამტარიანი ელექტროქსელის პარამეტრების (დენისა და ძაბვის საშუალოკვადრატული მნიშვნელობები, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრე და ენერჯია, სიმძლავრის კოეფიციენტი, სიხშირე და სხვა) ერთდროული გაზომვის, ასახვისა და ციფრული მნიშვნელობების გადაცემისათვის. ელექტროქსელის გაზომილი პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების ფიქსაცია ხორციელდება ჩაშენებულ 16– და 32–თანრიგა რეგისტრებში. თითოეული პარამეტრის მნიშვნელობა SCADA სისტემაში მთავარ მოწყობილობას (MTU) გადაეცემა RS-485 ინტერფეისის და Modbus პროტოკოლის საშუალებით. მოწყობილობის მიერ მოთხოვნაზე პასუხის გაცემის მაქსიმალური დრო შეადგენს 1000 მილიწამს. სამუშაო რეჟიმად შერჩეულია: Modbus RTU, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეები: 4.8, 9.6, 19.2, 38.4 კბიტი/წმ.

ექსპერიმენტის ფარგლებში N14 მოწყობილობის რეგისტრებიდან დროის გარკვეული ინტერვალით Modbus RTU პროტოკოლით და კერძოდ 03 ბრძანებით ხორციელდებოდა მონაცემთა ამოკითხვა და ამოკითხვისათვის საჭირო დროის შეფასება. როგორც ცნობილია Modbus პროტოკოლით შეტყობინებათა მიმოცვლა მიმდინარეობს საკომუნიკაციო ციკლების სახით. ეს არის მოსამზადებელი სამუშაოების/ოპერაციების ერთობლიობა, რომელიც საჭიროა შეტყობინების გასაგზავნად/ მისაღებად. არსებობს ციკლის ორი სახე, მთავარი (Master) და მიმყოლი/დამოკიდებული (Slave) მოწყობილობის ციკლი. მოწყობილობები მოთხოვნებს/შეტყობინებებს იღებენ ციკლის დასაწყისში და აგზავნიან ციკლის ბოლოს.

Modbus პროტოკოლის მკვლევარების ვარაუდით Master და Slave ციკლები ფიქსირებული ხანგრძლივობისაა, მიუხედავად იმისა, თუ Modbus–ის რა ბრძანება სრულდება. ჩატარებული კვლევა პასუხს სცემს კითხვაზე: Modbus–ის სხვადასხვა ბრძანებების დროს შესაძლებელია თუ არა ციკლების დროის შემცირება?

ჩატარებულ ექსპერიმენტში კომპიუტერი ასრულებს მთავარი მოწყობილობის როლს, ხოლო მულტიფუნქციური გამზომი ხელსაწყო N14 - მიმყოლი ანუ დაქვემდებარებული მოწყობილობის როლს. მათ შორის კავშირი ხორციელდება RS-485 ინტერფეისის ბაზაზე, რომელიც შესაბამისი გარდამქმნელით უკავშირდება პერსონალური კომპიუტერის USB პორტს. ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია მოწყობილობა N14-ის ერთი თექვსმეტბიტიანი მთელი ტიპის (სიხშირე) მნიშვნელობების შემცველი რეგისტრიდან მონაცემთა



ნახ.1. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად საჭირო დროების განაწილება (მწმ)

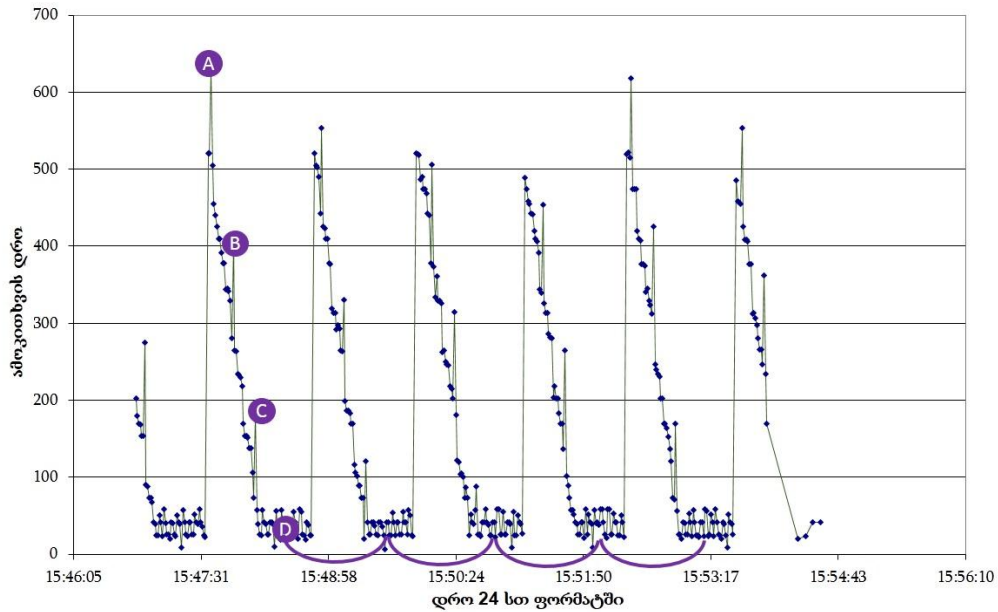
ამოკითხვისთვის საჭირო დროების განაწილება. რეგისტრზე მიკითხება ხორციელდება 1 წმ-იანი ინტერვალით. ერთწამიანი ინტერვალი არის ოპტიმალური, რადგან საპასპორტო ინსტრუქციების მიხედვით N14 მოწყობილობის მიერ პასუხის მოსამზადებლად და გასაცემად საჭირო დროის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 1000 მწმ ანუ 1 წმ. ამასთან, აუცილებელია მოწყობილობამ მოასწროს ყველა მიმართვაზე რეაგირება. როგორც ნახ. 1-დან ჩანს, მოწყობილობის რეაქციის (პასუხის გაცემის) დროის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს დაახლოებით 630 მწმ-ს, ხოლო

მინიმალური მნიშვნელობები მერყეობენ 20-65 მწმ დიაპაზონში. მოცემული სურათიდან ჩანს, რომ მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემის ამოკითხვა გრძელდება 10 წთ-ის განმავლობაში, 1 წმ-იანი ინტერვალით. შედარებისთვის ექსპერიმენტი ასევე ჩატარდა მოწყობილობის ერთდროულად რამოდენიმე რეგისტრის ამოკითხვის პირობებშიც, ასევე Modbus RTU რიჟიმის სხვადასხვა სიჩქარეებისთვის (9600 და 19200 ბიტი/წმ). სურათი დაახლოებით იგივეა -მნიშვნელოვან გადახრებს ადგილი არა აქვს.

ყოველი წერტილი ნახ. 1-ზე მოცემულ გრაფიკზე შეესაბამება მიმყოლი მოწყობილობიდან პასუხის მიღების დროს დამატებული პასუხის ციკლი. უშუალოდ პასუხის ციკლი გულისხმობს მიმყოლი მოწყობილობის მიერ მოთხოვნის მიღებას და მის დამუშავებას, ფუნქციის კოდით მოთხოვნილი ოპერაციის შესრულებას. როგორც ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან ჩანს, რომ მიმყოლი მოწყობილობის ციკლები თანაბარი ხანგრძლივობების არაა. ამოკითხვის დროის პიკურ მნიშვნელობებს შორის არსებობს ფიქსირებული 90 წმ-იანი დროთი ინტერვალი, რომელიც სიმეტრიულად ნაწილდება. მიმართვის დასაწყისში შეინიშნება მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემის ამოკითხვისთვის საჭირო დროის მკვეთრი მატება (630 მწმ), ხოლო შემდეგი 45 წმ-ის განმავლობაში - სტაბილური კლება, მომდევნო 45 წმ-ის ფარგლებში - სტაბილურად დაბალი მნიშვნელობები (20-65 მწმ-ის საზღვრებში). შემდეგ პროცესი მეორდება ციკლურად.

წარმადობის ამაღლების ალგორითმი. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ პარამეტრების გაზომვის პროცესის დაწყებისას, შეიძლება მოვხვდეთ როგორც დაბალი მნიშვნელობების დიაპაზონში ასევე პიკურ მნიშვნელობაზე ან სტაბილურად კლებად ფაზაში. პირველ შემთხვევაში უკვე „დაჭერილია“ მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემთა ამოკითხვისთვის საჭირო დროის დაბალი მნიშვნელობა. თუ ამ მომენტიდან გაზომვის პროცესი გაგრძელდება 100 წმ-იანი დროითი

ინტერვალით, ყოველი შემდეგი გაზომვისას მიღწეული იქნება მოწყობილობის მიერ პასუხის გაცემის მცირე დრო. პირველისგან განსხვავებულ შემთხვევებში კი უნდა შემუშავდეს მოწყობილობაზე მიმართვის და მონაცემთა ამოკითხვის ცალკე ალგორითმები.

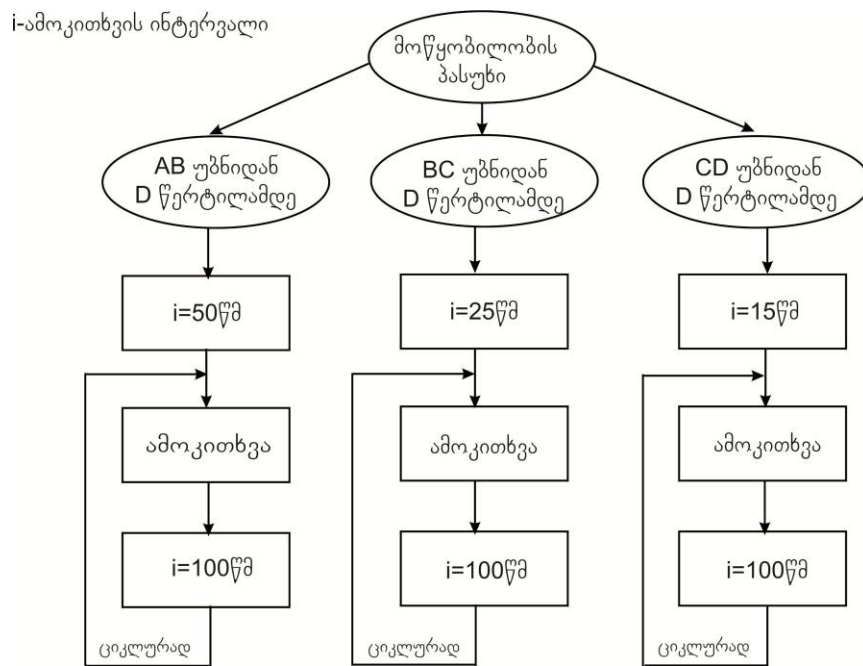


ნახ. 2. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად საჭირო დროების განაწილება (მწმ)

თვალსაჩინოებისთვის ნახ. 1-ზე ნაჩვენები ამოკითხვის დროის გრაფიკის კლებადი ფაზა დაიყო A (630 მწმ), B (400 მწმ), C (180 მწმ), D (50 მწმ) წერტილებად, ანუ 3 უბნად (AB, BC, CD). ექსპერიმენტის მიზანია ამ წერტილებიდან დაბალი (<100 მწმ) დონის წერტილებამდე (D ტიპის) გასვლა, რომლებიც შეესამამებთან მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის მცირე დროებს (ნახ. 2). ჩატარებული ექსპერიმენტის პროგრამული უზრუნველყოფით დადგენილ იქნა, რომ A-B უბნიდან D-ტიპის წერტილებამდე დაახლოებით 50 წმ-ია, B-C უბნიდან - 25 წმ, ხოლო C-D უბნიდან - 15 წმ. მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის დროის (მოწყობილობიდან პასუხის მიღების) დაბალი მნიშვნელობების მიღწევის შემდეგ საჭიროა მოწყობილობაზე ყოველი შემდეგი მიმართვა მონაცემთა

ამოკითხვის მიზნით განხორციელდეს 100 წმ-იანი შუალედებით რაც უზრუნველყოფს ამოკითხვის დროის დაბალი მნიშვნელობების შენარჩუნებას ყოველი მიმართვისას. ეს იმას ნიშნავს, რომ N14 მოწყობილობიდან მონაცემთა მიღება შესაძლებელი გახდება მინიმალურ დროში, რაც თავის მხრივ გაზრდის სისტემის მწარმოებლურობას/სწრაფქმედებას.

ქვემოთ მოცემულ ნაზაზხე წარმოდგენილია პერსონალური კომპიუტერიდან N14 მოწყობილობაზე მიმართვის ორგანიზების ალგორითმი და მისი რეალიზაცია ბლოკ-სქემის სახით (ნახ. 3). ეს ალგორითმი რეალიზებულია პრაქტიკულ ექსპერიმენტებში და დადასტურებულია მისი მუშაობის ეფექტურობა.



ნახ. 3. N14 მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის ალგორითმის ბლოკსქემა

თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარების ტემპები ცხადყოფს, რომ Modbus საკომუნიკაციო პროტოკოლი აუცილებლად საჭიროებს მწარმოებლურობის/ სწრაფქმედების ამაღლებას, რადგან იგი მკვეთრად

ჩამორჩება თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესების დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემებში გამოყენებული ინტელექტუალური მოწყობილობების განვითარების დონეს, რაც მათი შესაძლებლობების არაოპტიმალურ გამოყენებას და შესაბამისად სისტემის დაბალ წარმადობას განაპირობებს.

ჩატარებული კვლევის მაგალითზე ცხადად ჩანს, რომ მართვისა და მონიტორინგის სისტემაში პროგრამულ - აპარატურული კონფიგურაციების ცვლილებით და შესაბამისი ალგორითმის შემუშავებით შესაძლებელია სისტემის საერთო წარმადობის ამაღლება, თუმცა მეტი ეფექტისთვის აუცილებელია საკომუნიკაციო პროტოკოლების შინაარსობრივი მოდერნიზება და თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისი სწორი პრაქტიკული რეალიზაცია.

სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემა. SCADA - დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრის საიმედო ფუნქციონირებაში. მის როლს წარმოადგენს ვაკუუმური ტუმბოებიდან, სპექტრომეტრის ცალკეული ნაწილების მოძრაობისათვის საჭირო ბიჯური ძრავებიდან, მზომი ხელსაწყოებიდან და გადამცემებიდან ინფორმაციის ამოკითხვა და მთლიანი სისტემის მონიტორინგი და მართვა. *მართვის პროცესი* უზრუნველყოფს საჭირო დროს დისტანციურად სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების გაღება-დახურვას, ძრავების ჩართვა-გამორთვას, საგანგაშო სიტუაციების დამუშავებას და მომხმარებლისგან დამოუკიდებლად გადაწყვეტილების მიღებას თუ რა ოპერაცია უნდა შესრულდეს სპექტრომეტრის უსაფრთო ფუნქციონირებისათვის. *მონიტორინგის პროცესის* შედეგად დაგროვილი მონაცემები ინახება ელექტრონულ არქივში, რაც სისტემის მწყობრიდან გამოსვლისას გამომწვევი პრობლემების გაანალიზების საშუალებას იძლევა.

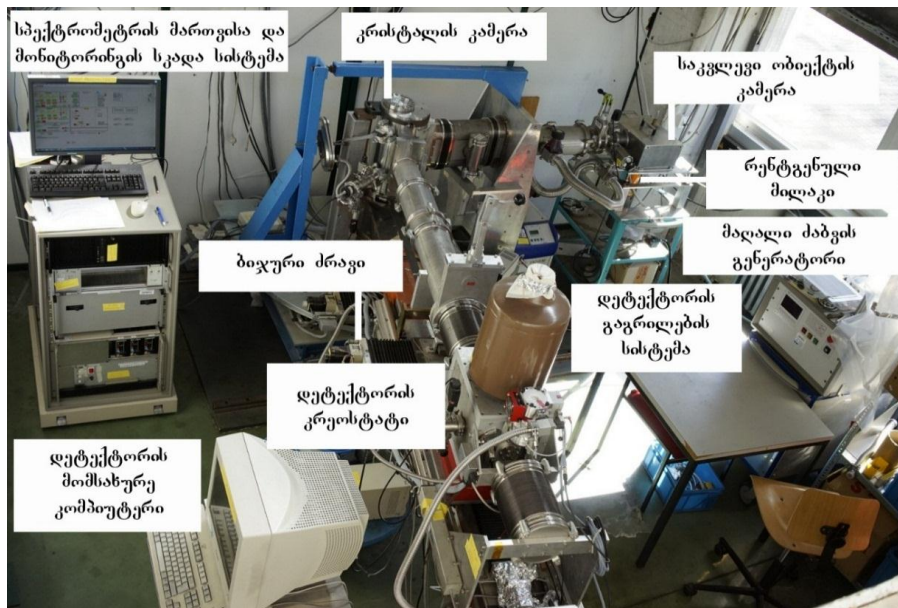
SCADA-სისტემა მონაცემთა მიღება-გადაცემისას იყენებს კოდირებულ სიგნალებს, რომელთა გადაცემა ხორციელდება

საკომუნიკაციო არხების საშუალებით. სისტემის მონიტორინგის კომპონენტი უშუალოდ დაკავშირებულია სისტემის ფუნქციონირების სტატუსის შესახებ მონაცემთა დაგროვების პროცესთან, რაც ითვალისწინებს ზემოთხსენებული კოდირებული სიგნალების მეშვეობით სპექტრომეტრის მომსახურე მოწყობილობების მდგომარეობების მუდმივ კონტროლს (ჩართულია / გამორთულია), მომხმარებლისათვის თვალსაჩინოდ მათ ასახვას კომპიუტერის ეკრანზე და არქივირებას.

კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA-სისტემის ფუნქციები დაყოფილია ორ ძირითად კატეგორიად: მართვა და მონიტორინგი. მონიტორინგის ქვეშ მოიაზრება ის ოპერაციები, რომლებიც თვალყურს ადევნებენ და ამოწმებენ სპექტრომეტრის კომპონენტების და დაყენებული პარამეტრების სტატუსს. ისინი ემსახურებიან ერთიან პოლიტიკას, რომლის მიზანია მომხმარებელს პერმანენტულად მიეწოდოს მთლიანი სისტემის გამართულობაზე ინფორმაცია. ამგვარად, სპექტრომეტრის მომსახურე პერსონალი დროის რეალურ რეჟიმში და ასევე მონაცემთა არქივის სახით ინფორმირებულია, თუ რომელი კონკრეტული მოწყობილობებია ჩართული/გამორთული, პრობლემატური და თუ პროცესები მიმდინარეობს დაგეგმილი ფორმით. მონიტორინგის პროცესი მოიცავს ეგრეთწოდებულ არააქტიურ ოპერაციებს, ანუ ისეთებს, რომლებიც არ ითვალისწინებენ სისტემის მართვას.

მართვა წარმოადგენს კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA-სისტემის მეორე მნიშვნელოვან კომპონენტს. ის ითვალისწინებს აქტიურ ოპერაციებს, რომლებიც უშუალოდ დაკავშირებულია მოძრაობასთან/ქმედებასთან, ცალკეული კომპონენტების (კონტროლერების, ამომრთველების, ძრავების) ჩართვა-გამორთვასთან, სპექტრომეტრის მოძრავი კომპონენტების გადაადგილებასთან და ამ ოპერაციების შესაძლო თანმხლები საგანგაშო სიტუაციების გაანალიზებასა და დამუშავებასთან.

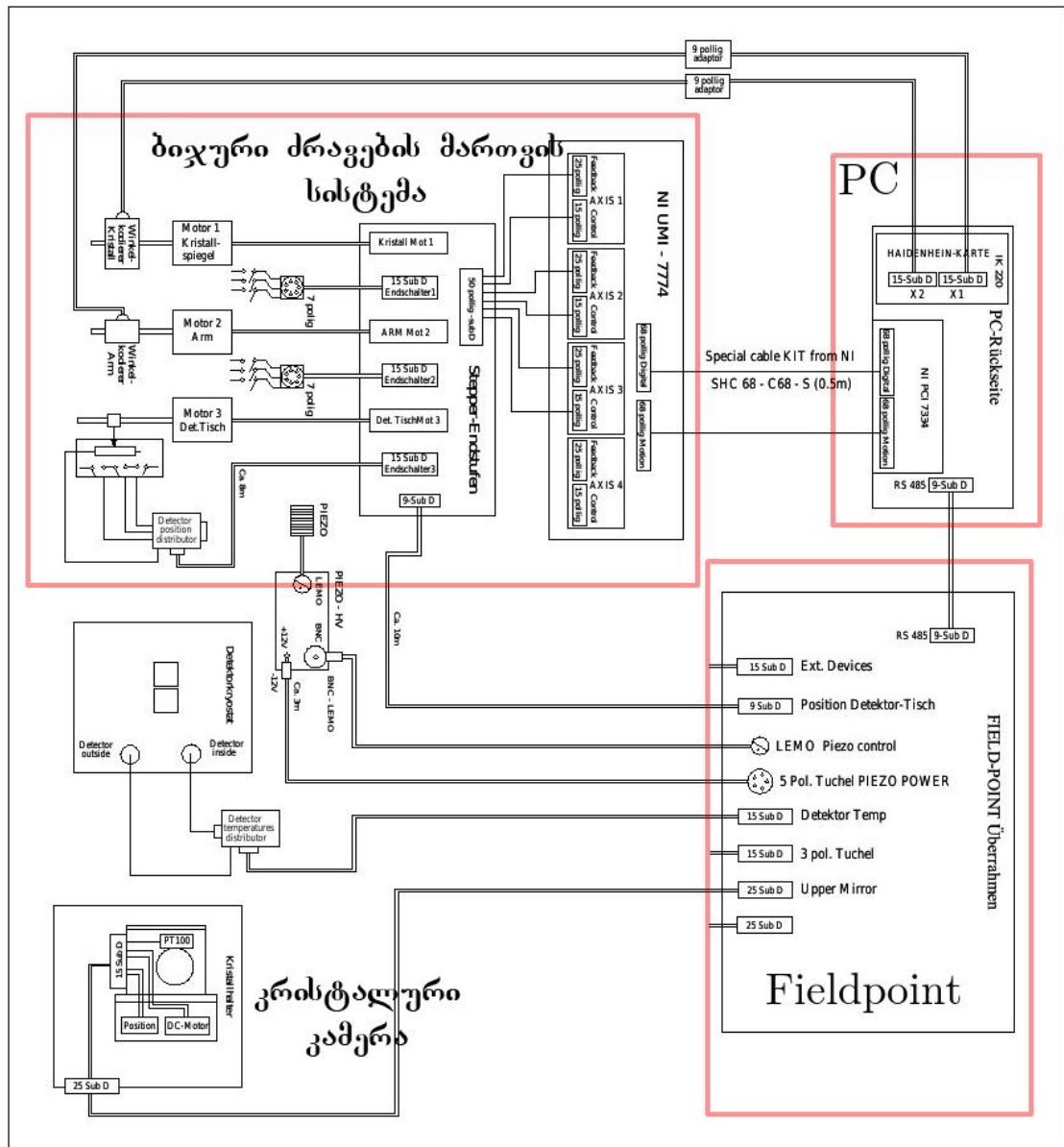
სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის სკადა სისტემის არქიტექტურა საკმაოდ კომპლექსურია გამოყენებული ელექტრონიკის თვალსაზრისით. სპექტრომეტრული სისტემის ძირითადი კომპონენტები ნაჩვენებია ნახ. 4-ზე, ხოლო სქემატური ნახაზი, რომელიც ასახავს მომსახურე აპარატურულ უზრუნველყოფას ცალკეული მოდულების და მათ შორის არსებული კავშირების გათვალისწინებით ნაჩვენებია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 4. იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრი და მისი ძირითადი კომპონენტები

ნახ. 5-ზე მოცემული სქემა შედგება სამი ძირითადი კომპონენტისაგან: 1. პერსონალური კომპიუტერის სისტემური ბლოკი რომელზეც დაყენებულია Labview- SCADA სისტემა, 2. ბიჯური ძრავების ბლოკი, რომელიც უზრუნველყოფს სპექტრომეტრის კრისტალის, მკლავის კუთხის და საფოკუსო მანძილის რეგულირებას, 3. FieldPoint აპარატურული ბლოკი მონიტორინგის ოპერაციების (გაზომვითი ოპერაციების) შესასრულებლად და მიღებული შედეგების პერსონალური კომპიუტერის ეკრანზე ასახვისათვის. კრისტალური სპექტრომეტრის რენტგენული მილაკიდან საკვლევ ობიექტამდე (სხვადასხვა ქიმიური შენაერთები) და საკვლევი ობიექტიდან კრისტალის ზედაპირამდე მანძილი ფიქსირებულია და

რეგულირებას არ საჭიროებს ექსპერიმენტის მსვლელობისას. გამომდინარე აქედან ამ პარამეტრების ავტომატური კონტროლის საჭიროება არ არსებობს. თუ აუცილებელი გახდა ამ პარამეტრების ცვლილება შესაძლებელია ხელით



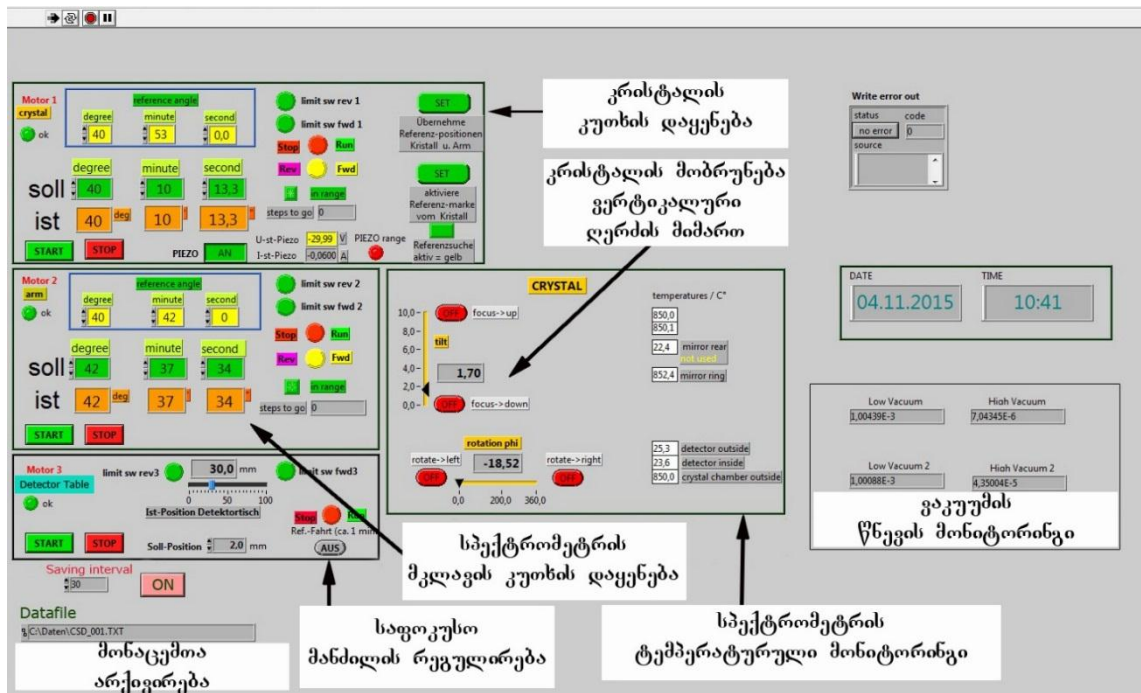
ნახ.5. კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგისათვის საჭირო აპარატურული უზრუნველყოფის კავშირის სქემა

SCADA სისტემის გარეშე, ვინაიდან ეს პროცესი დაკავშირებულია ერთმანეთთან შეერთებული ვაკუუმური მილების მონტაჟ-დემონტაჟთან.

იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვის ფუნქციები ინტეგრირებული და რეალიზებულია ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისის სახით, რომელიც წარმოადგენს მომხმარებელსა და სპექტრომეტრს შორის არსებულ გრაფიკულ გარემოს. იგი აადვილებს მომხმარებლის მხრიდან აპარატურაზე ზემოქმედებას. ამ მიდგომით, სისტემის მართვა ხორციელდება გრაფიკული დილაკებით და კომპონენტებით, რომლებიც განლაგებულია ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისის ბაზაზე შექმნილ პროგრამულ პანელზე.

SCADA სისტემა ტექნოლოგიური პროცესის მართვის პროცესში აუცილებლად გულისხმობს ადამიანის მონაწილეობას. სადავო არ არის, რომ SCADA სისტემებს მოეთხოვებათ მაღალი საიმედოობა. დღეისათვის SCADA სისტემაში მტყუნებათა 80% მოდის ადამიანი-ოპერატორის შეცდომაზე და მხოლოდ 20% ფიქსირდება აპარატურულ-პროგრამული საშუალებების ხარვეზებზე. ადამიანი-ოპერატორის უხარვეზო მუშაობისათვის საჭიროა გაიზარდოს ადამიანი-ოპერატორის მომზადების დონე, უნდა გაუმჯობესდეს მისი სამუშაო გარემო, მაგრამ ამასთან უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის ხარისხსაც. თუ ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისი დაბალი ხარისხისაა, მასთან მუშაობა გაუჭირდება მაღალკვალიფიციურ ოპერატორსაც, რასაც თან მოყვება მისი სწრაფი დაღლილობა, ნერვული სტრესები და შეცდომათა რაოდენობათა ზრდა. SCADA სისტემების ინტერფეისის პროექტირების მეთოდები ძირითადად არ განსხვავდება ზოგადად ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის პროექტირების მეთოდებისაგან, მაგრამ მაინც ხასიათდება გარკვეული სპეციფიურობით. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისი რეალიზებულია იმ პრინციპების და მეთოდების გათვალისწინებით, რომელთა ზემოქმედება გამოკვლეულია პრაქტიკულად, ხოლო ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ვიზუალიზაციის სისტემის არქიტექტურა ეფუძნება მეთოდს, რომელიც

გულისხმობს ტექნოლოგიური პროცესისათვის საჭირო ინფორმაციის წინასწარ სტრუქტურიზებას და ექსპლუატაციის პროცესში პროგრამულ-აპარატურული საშუალებებით მის გამოტანას ფართოფორმატიან მონიტორზე. ნახ. 6-ზე წარმოდგენილია კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის ადამიანურ-კომპიუტერი გრაფიკული ინტერფეისი.



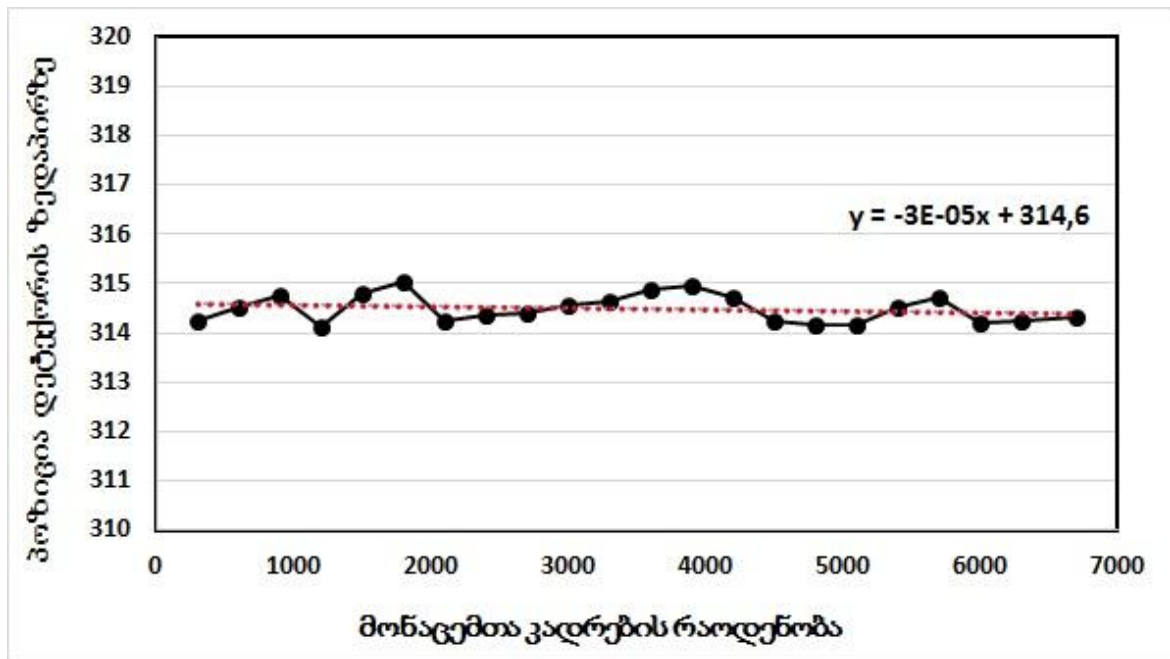
ნახ. 6. იულისხის კრისტალური სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისი

სულ შეიძლება გამოიყოს მართვის ტიპის ოთხი ოპერაცია: 1. კრისტალის კუთხის ცვლილება საკუთარი ვერტიკალური ღერძის მიმართ, რაც ცვლის კრისტალის კუთხეს დეტექტორთან მიმართებაში, 2. კრისტალის კუთხის ცვლილება საკუთარი ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ, რაც არეგულირებს კრისტალიდან დეტექტორისკენ მიმართული რენტგენული სხივების ინტენსივობას, 3. სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის რეგულირება, რაც კრისტალს და დეტექტორს ერთიანად გადაადგილებს მათ შორის არსებული კუთხის ცვლილების გარეშე და 4. საფოკუსო მანძილის

რეგულირება. მონიტორინგის ტიპის ოპერაციებში გამოიყოფა სპექტრომეტრის ვაკუუმის დონეების კონტროლი და კრისტალისა და დეტექტორის ტემპერატურების მონიტორინგი.

იულიხის სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის სტაბილურობის შეფასება. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრისათვის სტაბილურობა უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კრისტალის ორიენტაცია/კუთხე დეტექტორის მიმართ შენარჩუნებული იქნეს უცვლელად, ანუ კრისტალიდან არეკვლილი რენტგენის სხივები ფოკუსირდნენ დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირის ერთსადაიმავე უბანზე (პიქსელზე). ეს ნიშნავს იმას, რომ კრისტალის კუთხე, რომლის დაყენება ხდება ჩვენს მიერ დაპროექტებული SCADA სისტემის საშუალებით, სტაბილურად უნდა იყოს ფიქსირებული ერთ კონკრეტულ მნიშვნელობაზე. მოცემული კუთხის მეშვეობით განისაზღვრება საკვლევი ობიექტიდან (ჩვენს შემთხვევაში სხვადასხვა ქიმიური შენაერთებიდან) აღძრული რენტგენის სხივების ენერგიები. კრისტალის კუთხის ცვლილება გამოიწვევს რენტგენის სხივების ენერგიების არასწორ ინტერპრეტირებას, ამიტომ განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მის სტაბილურად შენარჩუნებას.

ექსპერიმენტის მსვლელობისას მონაცემების ჩაწერა ხდება კადრების სახით. კადრი არის მონაცემის სტრუქტურა, რომელიც შეესაბამება დეტექტორის ყველა პიქსელიდან (საერთო რაოდენობა 600 x 600) ამოკითხულ ინფორმაციას. როგორც წესი ექსპერიმენტის განმავლობაში ხდება საკვლევი ობიექტიდან მონაცემთა 10 000 -მდე კადრის აღება, რაც გრძელდება ერთი კვირის განმავლობაში. ამ დროს კრისტალის კუთხის ცვლილება გამოიწვევს აღებული მონაცემების (რომლებიც გამოიყენება საკვლევი ობიექტის რენტგენის სხივების ენერგიის დასადგენად) არასწორ ინტერპრეტაციას, რასაც მივყავართ რენტგენის ენერგიების არასწორ დაანგარიშებამდე.



ნახ. 7. საკვლევი ობიექტის რენტგენული სპექტრის პიკური პოზიციის დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე

აღნიშნული დაბრკოლებების თავიდან ასაცილებლად კრისტალის კუთხის დაყენება SCADA სისტემის საშუალებით ხორციელდება მაღალი 0,2 სეკუნდის სიზუსტით, ხოლო მისი მონიტორინგი წარმოებს მუდმივ რეჟიმში. ასევე ექსპერიმენტის მსვლელობისას პერიოდულად ხდება მონაცემთა კადრების ანალიზი, რომლის მიზანია დადგინდეს რენტგენული სპექტრის პიკის პოზიციის დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე. როგორც წესი, სპექტრის პიკი შეესაბამება დეტექტორის ერთ პიქსელს, რომელიც მისი მგრძობიარე ზედაპირის ცენტრალურ ნაწილში მდებარეობს. დასაშვებია მოცემული პიქსელიდან გადახრა მაქსიმუმ მხოლოდ ერთი პიქსელით. ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია მონაცემთა კადრების ანალიზის შედეგად მიღებული რენტგენული სპექტრის პიკური პოზიციები. როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს ანალიზი შესრულებულია მონაცემთა 6000 კადრისათვის. ყოველი მათგანისათვის პიკური მნიშვნელობა მდებარეობს დეტექტორის 314-ე ან 315-ე პიქსელში, რაც იმას ნიშნავს, რომ კრისტალის კუთხე სტაბილურად უცვლელია ექსპერიმენტის მსვლელობისას, რაც

უდაოდ ჩვენს მიერ დაპროექტებული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის Labview SCADA სისტემის დამსახურებაა. დაპროექტებული SCADA სისტემა უზრუნველყოფს მთლიანი სპექტრომეტრული სისტემის სტაბილურ მუშაობას, ხოლო პრობლემების დაფიქსირების შემთხვევაში მათი ანალიზის საშუალებას იძლევა.

იულიხის კვლევითი ცენტრის ბირთვული ფიზიკის ინსტიტუტში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრით მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში შესრულდა ექსპერიმენტული გაზომვები მანგანუმის სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთზე, მახასიათებელი რენტგენული გამოსხივებების კვლევის და მათი ენერგიების ზემადალი სიზუსტით დასადგენად. მანგანუმი მიეკუთვნება ე.წ. 3d ქიმიური ელემენტების წყებას, რომელთა ელექტრონული კონფიგურაციაა $3d^5 4s^2$ საინტერესოა, ბოლომდე დაუკომპლექტებელი 3d ელექტრონული შრის გამო (5 ელექტრონი ნაცვლად 10 - ისა), რაც საბოლოო ჯამში იწვევს საინტერესო ეფექტებს ელექტრონებს შორის ურთიერთობებში და განაპირობებს გამოსხივებული რენტგენული სპექტრის საკმაოდ რთულ და საინტერესო სტრუქტურას, რომელიც ბოლომდე გამოკვლეული არ არის.

მიღებულია შემდეგი შედეგები:

- მანგანუმის ქიმიური შენაერთების მახასიათებელი K_{α} და K_{β} რენტგენული გამოსხივების სპექტრი გაზომილ იქნა ზემადალი სიზუსტით ± 10 მილიელექტრონვოლტი, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა ბრეგის კრისტალური სპექტრომეტრი, რომლის პროგრამულ-აპარატურული მართვა და მონიტორინგი ხორციელდებოდა მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში დაპროექტებული მაღალწარმადი SCADA სისტემით. ექსპერიმენტული გაზომვების მიღწეული სიზუსტე წარმოადგენს პრეცედენტს მანგანუმის შენაერთებისათვის. ლიტერატურულ წყაროებში მოპოვებული ინფორმაციის თანახმად, იულიხის კვლევითი ცენტრის კრისტალურ სპექტრომეტრზე წარმოებული გაზომვების სიზუსტე დაახლოებით 7

ჯერ აღემატება ამ მიმართულებით სხვა სამეცნიერო ჯგუფების მიერ დღემდე მიღწეულ შედეგებს, რაც ხაზს უსვამს მაღალწარმადი SCADA სისტემის მნიშვნელობას, რამეთუ მის გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა მოცემული სიზუსტის შედეგების მიღება.

- ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად დაგროვდა დიდი რაოდენობით მონაცემები, რომელთა ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოტანილ იქნას დასკვნა, მანგანუმის გამოკვლეული ქიმიური შენაერთების მახასიათებელი რენტგენული სპექტრის პიკების ფორმა და შესაბამისი ენერგიები პირდაპირ და ძლიერ კავშირშია გარემომცველ ქიმიურ გარემოსთან, რაც აქამდე დადასტურებული არ იყო.
- დაფიქსირებულია რენტგენული სპექტრის ასიმეტრიულობა და გაანალიზებულია მისი გამომწვევი მიზეზები. შემუშავებულია რენტგენული სპექტრის ფორმის აღმწერი უნივერსალური მოდელი, რომელიც შესაძლებელია მისადაგებული იქნეს მომავალში ჩასატარებელ რენტგენულ გაზომვებზე. იულიხის კვლევით ცენტრში კრისტალურ სპექტრომეტრზე ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვები დიდ დახმარებას გაუწევს ერთის მხრივ ამ სფეროში მოღვაწე თეორეტიკოსებს იმ თეორიული გათვლების და ეფექტების ახსნაში, რაც აქამდე არსებობდა და ექსპერიმენტულად დადასტურებული არ იყო, ხოლო მეორეს მხრივ ამ სფეროში მოღვაწე ექსპერიმენტატორ მკვლევარებს, სწრაფად და მარტივად მოახდინონ მანგანუმის სხვა ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სპექტრის კომპონენტების იდენტიფიკაცია და მათი შესაბამისი ენერგიების მაქსიმალური პროგრამული სიზუსტით განსაზღვრა. აპარატურული სიზუსტე დამოკიდებულია უშუალოდ გამოყენებული გაზომვის ტექნიკაზე და აპარატურულ უზუნველყოფაზე.

ძირითადი დასკვნები

- განხილულია SCADA სისტემის არსი და მნიშვნელობა, დახასიათებულია მისი გამოყენების უპირატესობები.
- დამუშავებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა.
- დამუშავებულია მომსახურე SCADA სისტემაში წარმადობის ამალღების მეთოდი.
- დამუშავებულია რენტგენული სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმები და მათი მართვისა და მონიტორინგის პოლიტიკა.
- შემუშავებულია SCADA სისტემის მაღალწარმადობის შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც მისადაგებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მოთხოვნილებებთან.
- დამუშავებულია სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების მართვის მოქნილი ალგორითმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ კომპონენტების და საერთო ჯამში სპექტრომეტრის შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას და იმ შედეგების მიღწევას, რაც გულისხმობს საკვლევ ობიექტებში (სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთებში) რენტგენის სხივების ენერგიების ზემალალი სიზუსტით განსაზღვრას.
- ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის წარმადობის დამაბრკოლებელი ფაქტორები და დამუშავებულია აპარატურულ-პროგრამული უზრუნველყოფები სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის ასამალღებლად.
- დამუშავებული სისტემის რეალიზაციის შედეგები ადასტურებენ სამუშაოში მიღებული სამეცნიერო შედეგების სისწორეს და საინჟინრო გადაწყვეტების ეფექტურობას.

**დისერტაციის ირგვლივ გამოქვეყნებული ძირითადი
ნაშრომების სია:**

1. იმნაიშვილი ლ., ჯაბუა მ., ჩხიკვაძე კ., ელექტროქსელის პარამეტრების გამზომი მულტიფუნქციური ხელსაწყოს წარმადობის ამაღლება, შრომები „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ #1(21), სტუ. თბილისი, 2016 წ., გვ. 38–42.
2. იმნაიშვილი ლ., ბედინეიშვილი მ., ტალიკაძე თ., ჯაბუა მ., SCADA სისტემებში ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის დამუშავების საკითხისათვის. შრომები „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ #2(13), სტუ. თბილისი, 2012 წ., გვ. 66–68.
3. იმნაიშვილი ლ.მ., ბედინეიშვილი მ.მ., ჯაბუა მ.ა. ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ვიზუალიზაციის სისტემა. მე-3 საერთაშორისო საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქ.ქუთაისი, 24.10.2015–25.10.2015. მოხსენებების კრებული, გვ. 9–13