

УДК 681.3.07

## ОРГАНІЗАЦІЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА WEB-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

*М.Я. Николайчук*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, e-mail:ktsu@nung.edu.ua*

*Запропоновано та апробовано алгоритмічні, функціональні, топологічні та схемотехнічні рішення, що забезпечили оперативність і ефективність при розробці функціональних схем і визначенні параметрів системи управління, підборі первинних перетворювачів фізичних величин і виконавчих пристроїв, конфігуруванні і параметруванні апаратних засобів на основі програмованих логічних контролерів з комунікацією на основі промислової шини Industrial Ethernet. Досліджено елементи комунікаційного середовища на основі GSM-технології стільникового зв'язу шляхом параметрування GSM-модулів, комунікаційних протоколів і спеціальних комунікаційних програмних блоків. Тестування та апробація компонентів комунікаційного середовища підтвердили ефективність запропонованих рішень при побудові розподілених WEB-орієнтованих систем управління. На основі запропонованих рішень розроблено та апробовано WEB-орієнтовану систему управління з функціями SCADA і GSM-комунікацією.*

*Ключові слова: система промислового зв'язку, GSM-комунікація, відкрита TCP/IP комунікація, вимірковальний сигнал, нормалізація вимірковальних сигналів, програмований логічний контролер, SCADA-система, алгоритм управління, WEB-орієнтована топологія.*

*Предложено и апробировано алгоритмические, функциональные, топологические и схемотехнические решения, что обеспечили оперативность и эффективность при разработке функциональных схем и определении параметров систем управления, подборе первичных преобразователей физических величин и исполнительных механизмов, конфигурировании и параметрировании аппаратных средств на базе программируемых логических контроллеров с коммуникацией на промышленной шине Industrial Ethernet. Исследованы элементы коммуникационной среды на базе GSM-технологии сотовой связи путем параметрирования GSM-модулей, коммуникационных протоколов и специальных коммуникационных программных блоков. Тестирование и апробация компонентов коммуникационной среды подтвердили эффективность предложенных решений при построении распределенных WEB-ориентированных систем управления. На базе предложенных решений разработано и апробировано распределенную WEB-ориентированную систему управления с функциями SCADA и GSM-коммуникацией.*

*Ключевые слова: система промышленной связи, GSM-коммуникация, открытая TCP/IP коммуникация, измерительный сигнал, нормализация измерительных сигналов, программируемый логический контроллер, SCADA-система, алгоритм управления, WEB-ориентированная топология.*

*There is proposed and approbated algorithmic, functional, topological and circuit solutions that ensure efficiency and effectiveness in the development of functional circuits and determining the parameters of control systems, the selection of primary transducers of physical quantities and actuators, configuration and parameterization of hardware-based programmable logic controllers with communication on the Industrial Ethernet. For building distributed control systems of technological objects solved the problem of organization and researches elements of communication environment based on GSM-cellular technology by parameterization GSM-modules, communication protocols and special communication program blocks. Testing and approbation the components of communication environment have confirmed the efficiency of the proposed solutions in the construction of distributed WEB-oriented systems of control.*

*On the basis of the proposed solutions developed and approbation WEB-oriented distributed system of control with SCADA functions and GSM-communication.*

*Keywords: industrial communication system, GSM-communication, Open TCP/IP communication, measuring signal, normalized measurement signal, programmable logic controllers, SCADA-system, algorithms of control, WEB-oriented topology.*

**Вступ.** Організація та реалізація комунікаційного середовища на основі WEB-технологій дозволяє об'єднати територіально розподілені об'єкти управління за допомогою засобів відкритої комунікації (Open TCP/IP) [1], що в свою чергу розширює функціональність та підвищує оперативність процесів контролю та управління.

Досвід експлуатації розподілених систем управління вказує на необхідність всебічного аналізу та дослідження окремих компонентів та інформаційних процесів в таких системах при використанні різних способів доступу до глобальної мережі Internet з боку клієнтських та серверних терміналів.

**Проблематика і методика проектування WEB-орієнтованих систем управління.** Найбільш доступним і оптимальним в даний час комунікаційним середовищем для побудови систем управління розподіленими технологічними об'єктами є використання технології мобільного Internet на базі GPRS/EDGE (General Packet Radio Service – пакетний радіозв'язок з надбудовою над технологією мобільного зв'язку GSM/Enhanced Data rates for GSM Evolution - удосконалена технологія передачі даних для мобільного зв'язку, що функціонує як надбудова над 2G і 2.5G GPRS-мережами) [2].

Методика проектування розподілених WEB-орієнтованих систем управління включає наступні проектні процедури:

- створення функціональної схеми і визначення параметрів системи управління;
- підбір первинних перетворювачів фізичних величин і виконавчих пристроїв системи;
- конфігурування і параметрування апаратних засобів на основі PLC Simatic S7-1200 [3] або аналогічного з підтримкою комунікації Industrial Ethernet;
- розробка управляючих програм для PLC (мова FBD – Functional Block Diagram);
- параметрування уніфікованих комунікаційних функціональних програмних блоків (Open TCP/IP);
- параметрування GSM-модулів і протоколів мобільного зв'язку;
- налагодження і тестування окремих компонентів і системи в цілому.

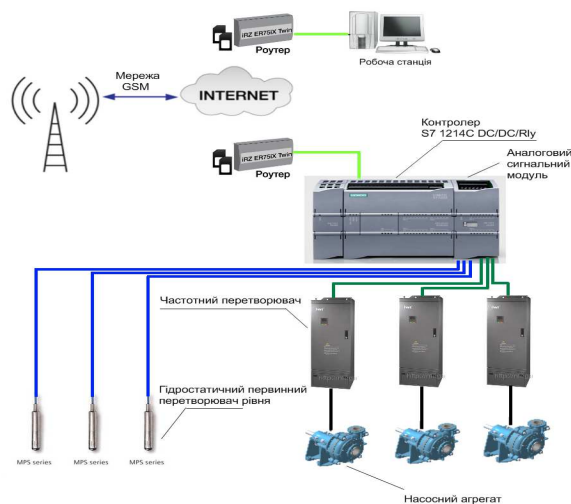
Досвід експлуатації подібних систем показав, що найбільш проблематичною зачачею є забезпечення безперебійності функціонування каналу мобільного зв'язку при перевантаженні трафіку комунікаційної мережі, при зменшенні

якості зв'язку у віддалених районах та за рахунок чинників зовнішнього середовища.

Враховуючи вищевказане, при проведенні дослідно-конструкторських робіт з побудови розподілених WEB-орієнтованих систем управління значна увага повинна приділятися саме особливостям і способам організації комунікаційного середовища.

В якості прикладу на рис. 1 наведено функціональну схему локального технологічного об'єкту розподіленої WEB-орієнтованої системи управління [4]. Система включає три рівні:

- верхній рівень (рівень управління на базі серверних робочих станцій зі SCADA-системою);
- середній рівень (рівень PLC з прикладним програмним забезпеченням);
- нижній рівень (рівень первинних перетворювачів фізичних величин і виконавчих пристроїв).



**Рисунок 1 - Функціональна схема технологічного об'єкту WEB-орієнтованої системи**

Програмування контролера PLC S7-1200 здійснюється програмним пакетом Totally Integrated Automation (TIA) Portal [5]. Програмне забезпечення TIA Portal забезпечує інтегроване середовище для розробки комплексних проектів на основі базових інструментальних та опційних апаратно-програмних засобів «Siemens».

**Конфігурування і параметрування комунікаційного середовища.** Для організації комунікаційного середовища необхідно виконати наступні процедури [6]:

- створення мережевого з'єднання для кожного PLC S7-1200;

- параметрування мережевого з'єднання для кожного PLC S7-1200 через комунікаційні програмні блоки TSEND\_C і TRCV\_C;  
 - налагодження комунікації на базі GSM-роутерів типу iRZ ER75iX Twin (рис. 2);  
 - організації і параметрування інформаційного «тунелю» GRE (Generic Routing Encapsulation - загальна інкапсуляція маршрутів), який є протоколом «тунелювання» мережевих пакетів, розроблений компанією «Cisco Systems» і його основне призначення - інкапсуляція пакетів мережевого рівня мережевої моделі OSI (Open Systems Interconnection) (рис. 3);

- тестування компонентів розподіленої WEB-орієнтованої системи управління (рис. 4).

На рис. 3 і 4 (параметрування окремого каналу і організація двохканального з'єднання відповідно) наведено результати параметрування GRE «тунелю» для розподілених компонентів WEB-орієнтованої системи управління на базі GSM-роутера iRZ ER75iX Twin.

На рис. 5 наведено результати тестування комунікаційного алгоритму WEB-орієнтованої системи (комунікаційний програмний блок для передачі даних TSEND\_C) в режимі «on-line».

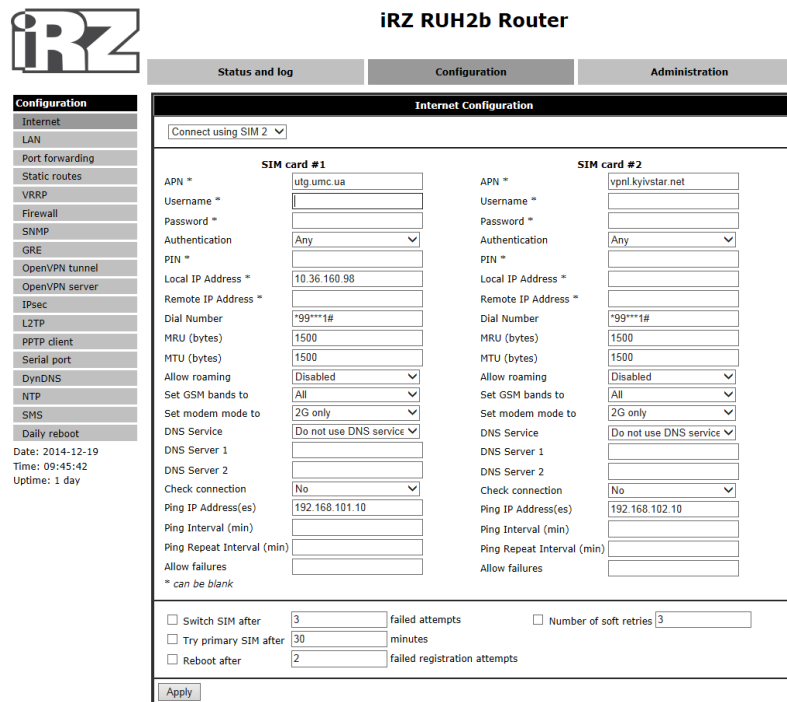


Рисунок 2 – Результати параметрування GSM-роутера типу iRZ ER75iX Twin

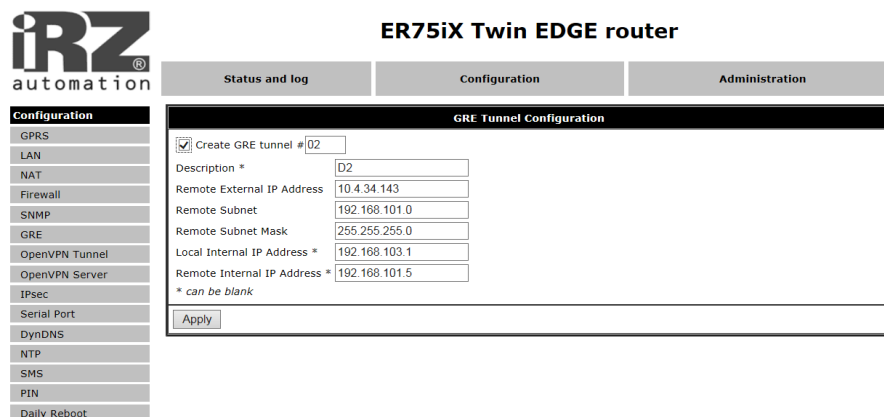



Рисунок 3 - Результати параметрування GRE «тунелю» GSM-роутера iRZ ER75iX Twin (параметрування окремого каналу)



## iRZ RUH2b Router

Status and log
Configuration
Administration

**Configuration**

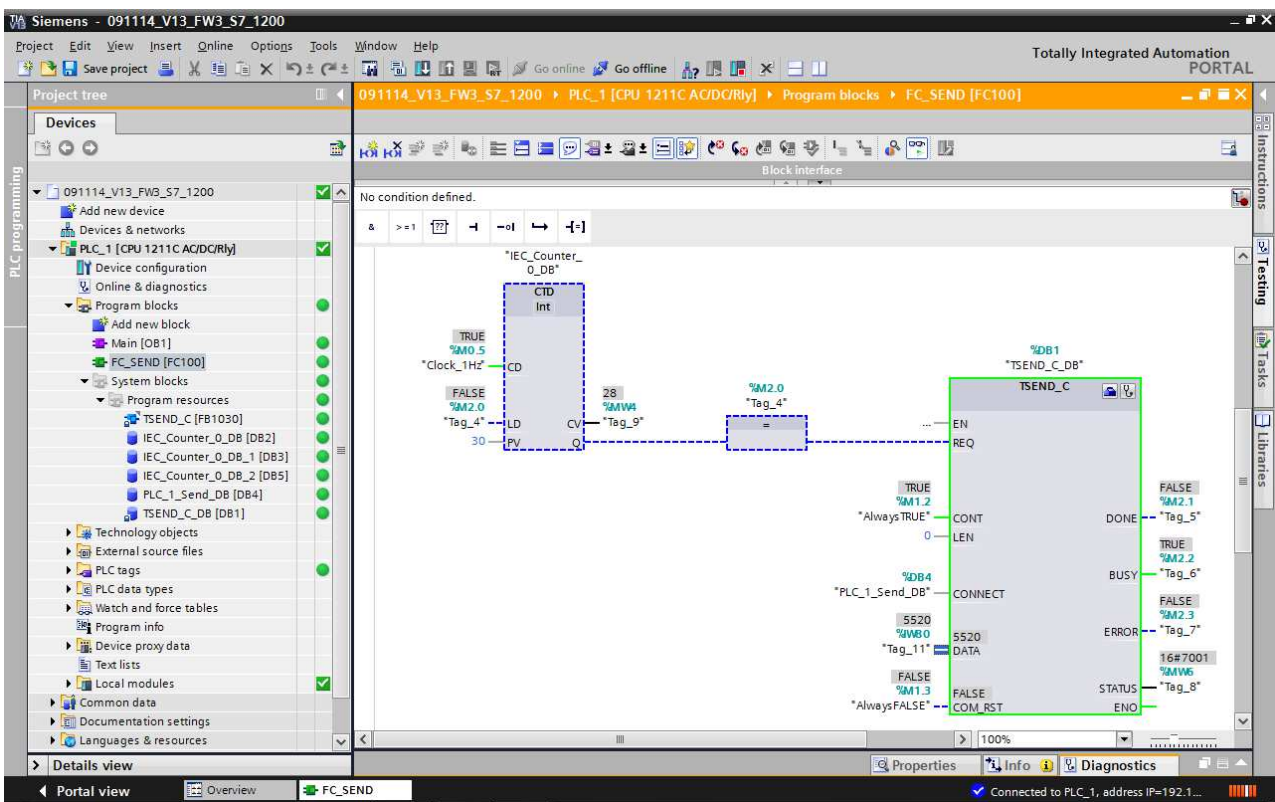
- Internet
- LAN
- Port forwarding
- Static routes
- VRRP
- Firewall
- SNMP
- GRE
- OpenVPN tunnel
- OpenVPN server
- IPsec
- L2TP
- PPTP client
- Serial port
- DynDNS
- NTP
- SMS
- Daily reboot

Date: 2014-12-19  
Time: 09:47:13  
Uptime: 1 day

GRE Tunnel Configuration

#	Create	Description	Remote IP Address	Remote Subnet	
1.	no	D1	10.36.160.99	192.168.101.0	[ Edit ]
2.	yes	K1	10.6.24.4	192.168.101.0	[ Edit ]
3.	yes	K2	10.6.24.5	192.168.103.0	[ Edit ]
4.	no				[ Edit ]
5.	no				[ Edit ]
6.	no				[ Edit ]
7.	no				[ Edit ]
8.	no				[ Edit ]
9.	no				[ Edit ]
10.	no				[ Edit ]

**Рисунок 4 - Результати параметрування GRE «тунелю» GSM-роутера iRZ RUH2b (організація двохканального з'єднання)**



The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager environment. The main window shows a ladder logic network for the FC\_SEND program block. The network includes a timer block TSEND\_C (DB1) and several input/output variables. The variables are connected to the timer's EN, REQ, and DATA inputs. The output variables are connected to the timer's DONE, BUSY, ERROR, and STATUS outputs. The status output is connected to a COM\_RST input. The network is connected to the PLC\_1 CPU 1211C AC/DC/Rly.

**Рисунок 5 - Результати тестування комунікаційного алгоритму і програми розподіленої WEB-орієнтованої системи управління (комунікаційний програмний блок для передачі даних TSEND\_C) в режимі «on-line»**

Для аналізу і дослідження процесів передавання вимірювальної і керуючої інформації в розподілених системах управління можуть застосовуватись зовнішні і внутрішні ресурси апаратно-програмних засобів з функціями тестування і діагностики функцій передачі даних. Застосування даних ресурсів дозволяє вирішувати задачі оптимізації параметрів комунікаційного середовища (вибір оператора стільникового зв'язку, стандарту мобільного зв'язку, смуги частот, параметрів часової синхронізації, параметрів доступу, функції відновлення комунікаційного з'єднання тощо, що в свою чергу розширює функціональні можливості і підвищує техніко-економічні показники розроблюваних систем управління розподіленими технологічними об'єктами.

На рис. 6 і 7 наведено результати тестування часу доступу до розподілених технологічних об'єктів, розташованих у різних умовах рельєфу і зон покриття стільникової мережі GSM.

```

PING 10.6.24.5 (10.6.24.5): 56 data bytes
64 bytes from 10.6.24.5: seq=0 ttl=63 time=1667.114 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=1 ttl=63 time=1802.124 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=2 ttl=63 time=817.963 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=3 ttl=63 time=634.216 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=4 ttl=63 time=530.426 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=5 ttl=63 time=707.825 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=6 ttl=63 time=483.826 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=7 ttl=63 time=680.572 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=8 ttl=63 time=576.172 ms
64 bytes from 10.6.24.5: seq=9 ttl=63 time=569.244 ms

--- 10.6.24.5 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 483.826/846.948/1802.124 ms

```

**Рисунок 6 - Результати тестування часу доступу до розподілених технологічних об'єктів, розташованих у різних умовах рельєфу і зон покриття стільникової мережі GSM (усереднений час доступу 846 мс)**

Проведений аналіз результатів тестування свідчить про те, що час доступу до віддалених розподілених об'єктів може складати до 4 с при викостанні стандарту стільникового зв'язку GSM 2G (GPRS/EDGE), який забезпечений практично на всій території України.

Результати одного з розроблених людиномашинних інтерфейсів в SCADA-системі WinCC «Siemens» розподіленої WEB-орієнтованої системи управління технологічними об'єктами з GSM-комунікацією

наведений на рис. 8 [7].

```

PING 10.6.24.4 (10.6.24.4): 56 data bytes
64 bytes from 10.6.24.4: seq=0 ttl=63 time=3729.004 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=1 ttl=63 time=2779.724 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=2 ttl=63 time=1853.974 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=3 ttl=63 time=868.133 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=4 ttl=63 time=404.205 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=5 ttl=63 time=402.527 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=6 ttl=63 time=399.537 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=7 ttl=63 time=475.769 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=8 ttl=63 time=408.874 ms
64 bytes from 10.6.24.4: seq=9 ttl=63 time=406.189 ms

--- 10.6.24.4 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 399.537/1172.793/3729.004 ms

```

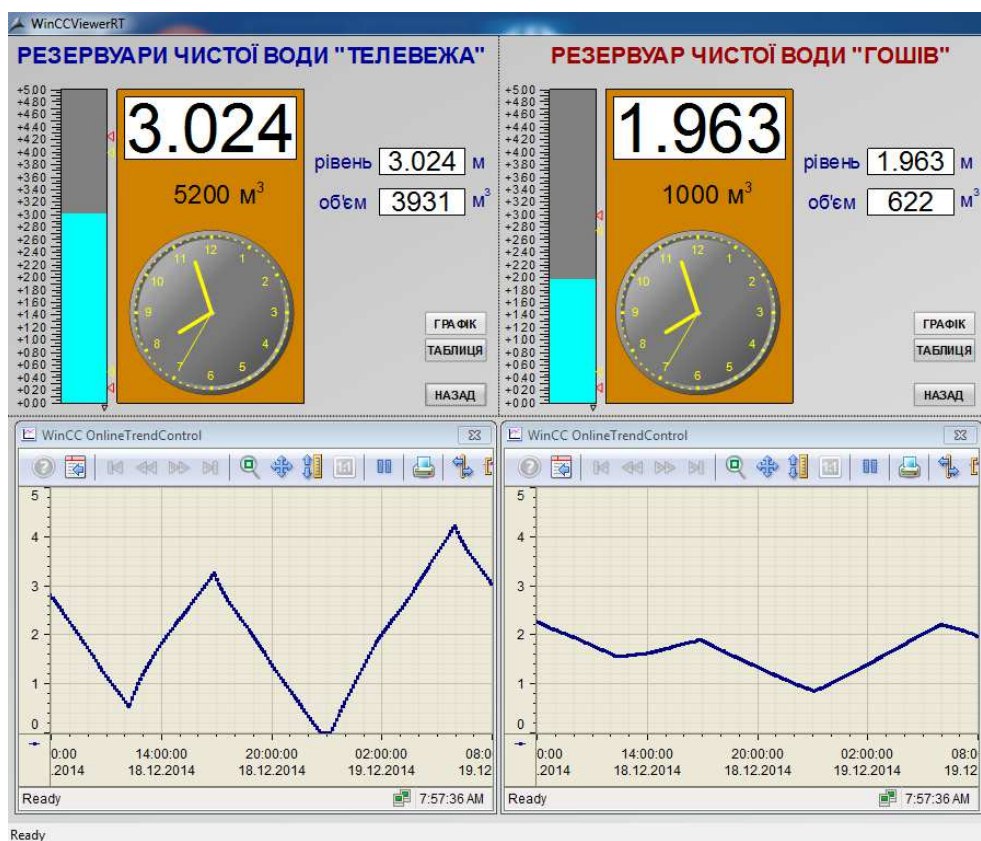
**Рисунок 7 - Результати тестування часу доступу до розподілених технологічних об'єктів, розташованих у різних умовах рельєфу і зон покриття стільникової мережі GSM (усереднений час доступу 1172 мс)**

На мнемосхемі (рис. 8) відображаються технологічні параметри рівня заповнення резервуарів, результати розрахунку об'ємів, архіви даних і тренди, формуються попереджувальні повідомлення про вихід параметрів за допустимі межі.

## ВИСНОВКИ

Результати проведених дослідних і конструкторських робіт вказують на можливість і перспективність побудови систем управління розподіленими технологічними об'єктами на основі сучасних WEB-технологій. Основою для вирішення вказаної науково-технічної задачі є всебічне дослідження, моделювання і розробка окремих компонентів таких систем і систем в цілому. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти дослідженню компонентів комунікаційного середовища на основі технологій стільникового зв'язку стандарту GSM як невід'ємної складової сучасних систем управління територіально розподіленими технологічними об'єктами.

Підходи та технічні засоби, що запропоновані в роботі, пройшли апробацію протягом року в промислових умовах і при відповідній комплектації можуть застосовуватись для вирішення подібних задач у різних галузях.



**Рисунок 8 - Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системі розподіленої WEB-орієнтованої системи управління технологічними об'єктами з GSM-комунікацією**

1. *Open User Communication with TSEND\_C and TRCV\_C. Simatic S7-1200 CPU (V1.0, Item ID: 67196808). SIEMENS: – FAQ Jenuary – 2013 – 22 p.* 2. *ER75iX Twin EDGE/GPRS Router Руководство пользователя. Последнее изменение: 2010-04-06 – 61 с.* 3. *Simatic S7-1200 Programmable Controller. System Manual (A5E02486680-AH). – Siemens: 01/2015. – 1328 p.* 4. *Заміховський Л.М., Николайчук М.Я., Левицький І.Т. Автоматизована система управління водозабезпеченням Долинського району. Інтелектуальний продукт вчених і винахідників Прикарпаття, 2013. Щорічний каталог найвагоміших винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій. Довід. вид. Редакційна колегія: Б.І.Середюк, Л.М.Шляхтич, Т.В.Тиховська, В.М.Козуч. – Івано-Франківськ, 2014. - С. 19-22.* 5. *STEP 7 Professional V13.0. System Manual. – Siemens: 02/2014. – P. 8477-8531.* 6. *Николайчук М.Я. Організація і компоненти GSM-комунікації для управління промисловим та лабораторним обладнанням // Збірник тез*

*доповідей III-го всеукраїнського науково-практичного семінару «Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті» (MITDE-2014). – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ. - 2014. - С. 179-183.* 7. *Николайчук М.Я. Особливості організації комунікаційного середовища WEB-орієнтованих систем управління розподіленими технологічними об'єктами // Збірник матеріалів доповідей VII-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання» - ІФНТУНГ, Івано-Франківськ. - 2014. - С. 343-347.*

**Поступила в редакцію 17.03.2014р.**

**Рекомендували до друку: Оргкомітет 7-ої МНТК з НК і ТД обладнання (25 – 28.11.2014р., ІФНТУНГ) та докт. техн. наук, проф. Заміховський Л.М.**