

УДК 004.05:004.4

Запропоновано багатофункціональну апаратно-програмну систему управління SLA, яка володіє функціоналом великих і дорогих апаратних зондів, але за рахунок застосування в ній програмних компонентів набуває суттєву від інших продуктів відмінність – низьку вартість. Метою роботи є створення апаратно-програмної системи управління SLA. Розроблено модель вимірювання якості IP-з'єднань, що дозволяє проводити моніторинг якісних і кількісних характеристик SLA у високо навантажених і сильно зашумлених мережах

Ключові слова: SLA, якість, втрати пакетів, одностороння затримка, RTT, C++, RFC, CLI, jitter, IPDV

Предложена многофункциональная апаратно-програмная система управления SLA, которая обладает функционалом больших и дорогих аппаратных зондов, но за счет применения в ней программных компонентов приобретает существенное от других продуктов отличие – низкую стоимость. Разработана модель измерения качества IP-соединений, позволяющая проводить мониторинг качественных и количественных характеристик SLA в высоко нагруженных и сильно зашумленных сетях

Ключевые слова: SLA, качество, потери пакетов, односторонняя задержка, RTT, C++, RFC, CLI, jitter, IPDV

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ IP-З'ЄДНАНЬ

А. О. Олійник
Кандидат технічних наук, доцент*
E-mail: olejnikaa@gmail.com

М. В. Головка*
E-mail: golovko.maksym@gmail.com

Є. М. Федорченко
Асистент*
E-mail: eaglets1@rambler.ru

*Кафедра програмних засобів
Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

1. Вступ

Останнім часом IP-технології все міцніше затверджуються на ринку послуг зв'язку. Роль якості зв'язку все помітніше впливає на ефективність роботи корпоративних інформаційних систем та сервісів.

Це викликано переходом на нові технології передачі даних, голосу і відео - пакетні технології Ethernet. На даному етапі оператори зв'язку та споживачі послуг зіткнулися з наступними проблемами. Для пакетних технологій, незважаючи на величезний потенціал розвитку, характерні недоліки, пов'язані з природою пакетної комутації - відсутність константних характеристик часу затримки передачі пакетів по мережі, хаотична поведінка пакетних мереж при високих рівнях завантаження, пов'язані з самоподібністю трафіку в IP-мережах.

У зв'язку з величезним розмаїттям пакетних сервісів, різноманітності сімейств протокольних стеків пакетної комутації і способів реалізацій в обладнанні різних виробників стало скрутним формування нормативної бази в галузі метрології IP послуг та сертифікації вимірювального обладнання.

Складності взаємодії мережевого обладнання різних виробників стали основними обмежувачими факторами створення простих, гнучких і зручних вбудованих механізмів вимірювань якості послуг на базі мереж IP [1].

Тому актуальною є розробка моделі вимірювання якості ip-з'єднань та створення на її основі відповідного пристрою, який володіє функціоналом великих і дорогих апаратних зондів та низькою вартістю. Ме-

тою роботи є створення апаратно-програмної системи управління SLA (Service Assurance Agent).

2. Дослідження та аналіз відомих технологій контролю якості зв'язку

Існує велика кількість програмних і апаратних рішень контролю якості передачі даних по мережі Інтернет.

Демаркаційні пристрої Carrier Ethernet ETX-203A (RAD Data Communications) (рис. 1) виконують функцію устаткування доступу (CPE) і забезпечення моніторингу параметрів SLA. ETX-203A – демаркаційний пристрій Carrier Ethernet, що дозволяє оператору надавати бізнес-послуги згідно SLA аж до майданчика користувача на основі Ethernet як технології доступу з великою надійністю і продуктивністю, як в мережах SDH / SONET.



Рис. 1. Carrier Ethernet ETX-203A

За допомогою мікросхеми, розробленої в RAD, пристрій ETX-203A передає трафік таких послуг, як IP

VPN, VoIP, виділений доступ в Інтернет і ЛОМ-ЛВС Layer 2, всі з диференцірованим рівнем якості послуг і наскрізним моніторингом [2].

Зонди сімейства EtherNID/MetroNID (рис. 2) забезпечують весь комплекс вимірювань показників якості, необхідних для контролю SLA на рівні транспортних мереж Ethernet і Gigabit Ethernet L2/L3 VPN послуг і доступу в Інтернет.

Зонди забезпечують вимірювання пропускну здатності без перерви зв'язку згідно RFC2544, одно-сторонню затримку передачі інформації, втрати пакетів і інші параметри якості послуг на швидкостях 10/100/1000/10000 Мбіт/с (10 Гбіт/с). Зонди EtherNID /MetroNID можуть встановлюватися «в розрив» користувальницького трафіку і на вільний порт комутатора [3].



Рис. 2. EtherNID, MetroNID

Програмний агент IP SLA, вбудований в Cisco IOS маршрутизаторів Cisco Systems, дає можливість вимірювати якість IP-з'єднання в прив'язці до роботи бізнес-критичних додатків, таких як VoIP, відео-конференцзв'язок і критичні до затримок дані.

Cisco IP Monitor SLA (Service Assurance Agent, рис. 3) використовує активний метод контролю. Генеруючи тестовий трафік, IP SLA монітор забезпечує вимірювання показників продуктивності та якості мережі. Маршрутизатор на одній стороні каналу генерує трафік з заданими параметрами, на другій стороні каналу маршрутизатор виступає в ролі відповідача [4].

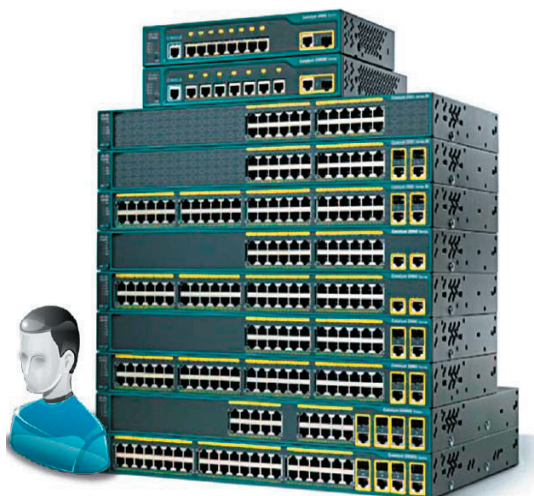


Рис. 3. Cisco IP Monitor SLA

Результати порівняння пристроїв та їх технічних характеристик наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння пристроїв

Критерії порівняння	Пристрої			
	wiProbe	EtherNID	Cisco IP Monitor	Carrier ETX-203A
Наявність CLI доступу	+	+	+	+
Наявність ssh доступу	+	+	-	-
Performance assurance тест	+	+	+	+
DNS тест	+	-	-	-
RFC2554 тест	+	+	+	-
Максимальна кількість підтримуваних тестів (одного виду)	768	50	40	50
Загальна кількість одночасно виконуваних тестів	необмежано	50	40	50
Кількість планованих RFC тестів	90	1	1	1
Можливість модифікації	дозволяє	неможливо	неможливо	неможливо
Критичні межі виміру односторонніх показників (PL – Packet Loss; RTT – Round Trip Time)	до 80% PL; до 900мс RTT	до 20% PL; до 300мс RTT	до 30% PL; до 400мс RTT	до 30% PL; до 400мс RTT
Ціна за одиницю (\$), [2-4]	80	3000	5000	4000

Як видно з табл. 1, існуючі апаратні комплекси не дозволяють підтримувати велику кількість одночасних тестів (як правило, підтримується до 50 тестів [2-4]), не функціонують в мережах з великими затримками і не дозволяють легко додавати та модифікувати вимірювальні тести, що викликано недосконалістю використаних вимірювальних моделей та ускладнює отримання валідних показників якості ліній з'єднань. Тому актуальною є розробка вимірювальної моделі, а також програмно-апаратного комплексу, що дозволяє отримувати актуальні показники ліній зв'язку.

3. Мета і завдання дослідження

Через високу вартість існуючих рішень було прийнято реалізувати програмно-апаратний комплекс для вимірювання якості ліній зв'язку.

Були поставлені наступні вимоги:

- можливість проведення великої кількості (до 100) вимірювальних тестів;
- функціональність CPE (маршрутизація, пріоритизація та шейпінг трафіку, Wi-Fi доступ в Інтернет, установка шифрованих з'єднань через Інтернет);

- управління SLA послуги IP VPN L2/L3, контроль якості доступу в Інтернет, моніторинг додатків L5-L7 і хмарних сервісів;
- вимірювання об'єму користувальницького трафіку по додаткам і ір адресам;
- Plug & Go - автоматичне визначення в системі, завантаження сценаріїв з системи і виконання сценаріїв тестування;
- ціна однієї вимірювальної одиниці не повинна перевищувати 80 \$;
- наявність різних систем оновлень і гнучкої системи налаштувань;
- можливість використання розробленого пристрою у наступній схемі (рис. 4);

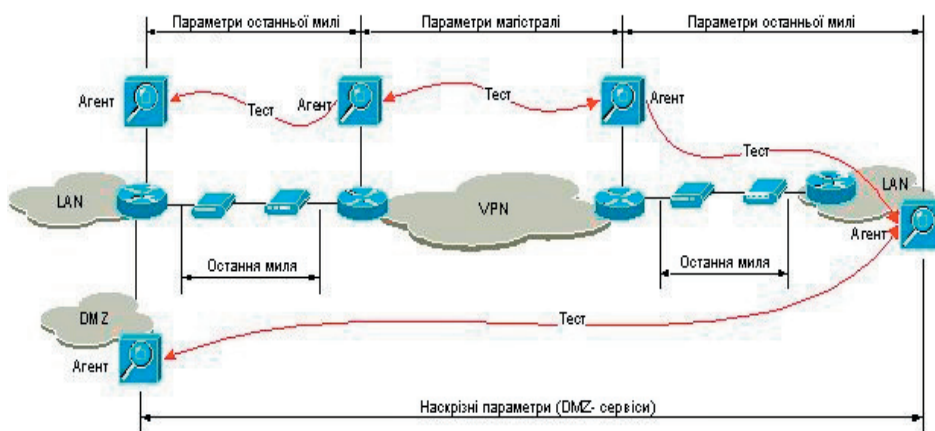


Рис. 4. Схема використання

Розроблювана вимірювальна модель повинна забезпечувати такі можливості: легка модифікація функціоналу, завдяки використанню програмної реалізації; забезпечення великою кількістю (більше 200 тестів) виконання одночасних тестів.

Необхідно розробити метод вимірювання односторонньої затримки і джитера (jitter) під критично великим навантаженням мереж.

4. Модель вимірювання якості IP-з'єднань

Відповідно до поставлених завдань було вибрано апаратну платформу Marvell-SheevaPlug [5]. Технічні характеристики обраного пристрою наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Технічні характеристики

Manufacturer	Marvell
Operating system	Ubuntu 9.04
Power	2.3 W idle no attached devices, 7.0 W running at 100% CPU utilization
CPU	1.2 GHz ARM Marvell Kirkwood 88F6281 (ARM9E)
Storage capacity	External hard drive/SDIO card/flash disk
Memory	512 MB SDRAM, 512 MB Flash
Display	None
Connectivity	USB 2.0, SD slot, Gigabit Network, JTAG mini USB
Dimensions	110 x 69.5 x 48.5 (mm)

На рис. 5 зображено модель розробленого програмного забезпечення, що дозволяє проводити вимірювальні тести.

Модуль Configurator виконує конфігурацію та ініціалізацію системи.

В основі вимірювання лежать чотири сокети та один таймер. Два сокети працюють на ipv4 та два сокети на ipv6 – один на icmp другий на udp. У певний момент часу встановлюваний конфігуратором таймер відправляє в сокети необхідні дані.

З іншого боку всі дані, які приходять на сокет, обробляються згідно нижче приведених формул і зберігаються в csv, після чого підготовляються для відправлення по http.

Також є два підмодулі для конфігурування slamon. File Reader завантажує конфігураційні файли, а Config Server дозволяє конфігурувати програмне забезпечення по засобах tcp-сокета за допомогою спеціально розробленого протоколу, в якому перше поле - це команда з розміром поля в 1 байт, де можливо використовувати тільки 256 функцій, друге - параметри команди, третє - ознака закінчення команди.

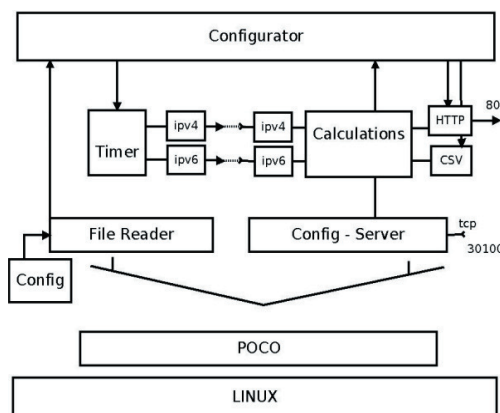


Рис. 5. Модель програмного комплексу slamon

В якості моделі вимірювання якості IP-з'єднань було обрано деревоподібну модель (рис. 6).

У розробленій моделі Bucket Manager визначає тест, який повинен виконати відправку вимірювального пакета. Час відправки пакета встановлюється при конфігуруванні тесту таким чином, щоб тестові пакети були рівномірно розподілені протягом секундного інтервалу. Таймер спрацьовує 40 разів в секунду. Згідно типу тесту вибирається відповідний модуль відправки. Час відправленого пакета зберігається в масиві тесту для подальшої обробки. Після отримання відправленого пакета час отримання заноситься до того ж масиву, далі проводиться розрахунок затримки і jitter в Time Calculation модулі.

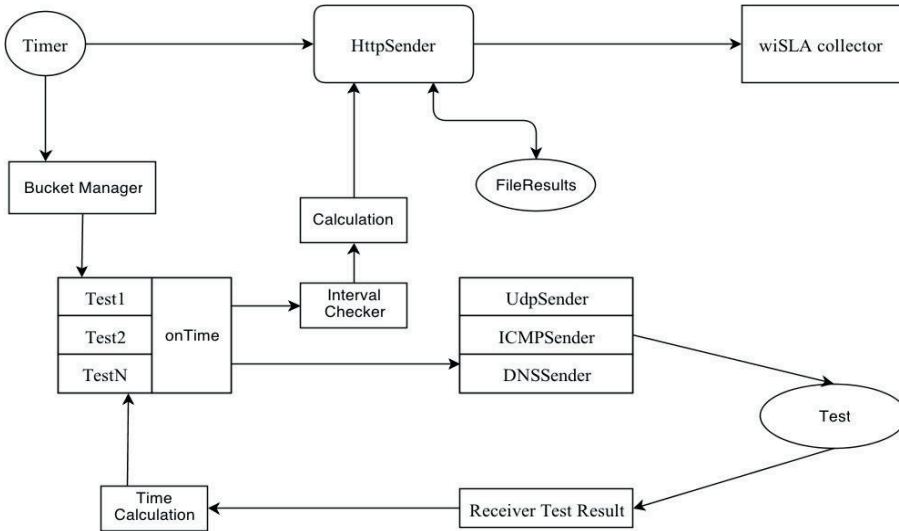


Рис. 6. Модель вимірювання якості IP-з'єднань

По таймеру перевіряється закінчення тестового інтервалу в Interval Checker і проводиться розрахунок усереднених характеристик затримки і jitter в Calculation. Отриманий результат передається в модуль HttpSender, де зберігається в FileResults. Timer щохвилини викликає функцію відправлення результатів вимірювань в модулі HttpSender, яка читає дані з FileResults і відправляє в wiSLA collector.

Контроль якості включає в себе аналіз наступних параметрів: втрати IP пакетів, кругова затримка IP пакетів, одностороння затримка IP пакетів, варіація затримки IP пакетів, сміність каналу, кількість перефарбованих пакетів (доставлених із зміненним класом сервісу).

Вимірювання цих параметрів може проводитися в різних класах сервісу, наприклад: standard, premium та real-time. Можливий облік зональної структури мережі, що часто використовується операторами при наданні послуг IP VPN.

Втрати IP пакетів (відсоток втрат, packet loss). Втрати пакетів можуть з'являтися за рахунок спотворень, що виникають при їх доставці або за рахунок перевантажень на лініях передачі і мережевих пристроях, що призводять до їх відкидання. Розраховується як відношення кількості відправлених, але не дійшли до адресата пакетів до загального числа відправлених пакетів, які були передані по мережі в рамках одного тесту:

$$K = \frac{Ps - Pr}{Ps} * 100\% , \quad (1)$$

де K – коефіцієнт втрати пакетів; Pr – кількість прийнятих пакетів; Ps – кількість отриманих пакетів.

Кругова затримка (RTD – round-trip delay time, RTT – round-trip time, RTL – round-trip latency) розповсюдження пакету по мережі визначається множиною факторів: часом формування пакету на станції-відправнику, затримкою передачі між вузлами мережі, затримкою комутації-маршрутизації, часом, необхідним на обробку пакета на приймальній станції. Розраховується як сума односторонніх затримок поширення тестових пакетів.

Одностороння затримка (One-Way Delay, OWD) – час, що необхідний для передачі пакета від джерела до приймача. Для вимірювання необхідно, щоб джерело і приймач були синхронізовані за часом. На відміну від кругової затримки, дозволяє визначити наявність асиметрії в механізмах обслуговування при проходженні тестового пакета для кожного напрямку передачі.

Варіація затримки (Jitter, IPDV – IP Packet Delay Variation, PDV – packet delay variation). Параметр визначається в RFC 3393 [6], як різниця наскрізних затримок проходження двох пакетів. Позначивши значення PDV для i-ого та j-ого пакетів буде розраховуватися як:

$$D_{i,j} = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i), \quad (2)$$

де R – час відправлення пакета; S – час доставки пакета.

Рис. 7 ілюструє процес виникнення варіації затримки через нерівномірні доставки пакетів.

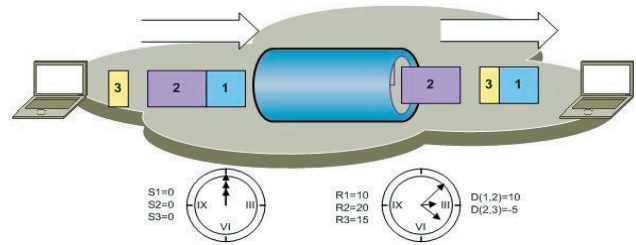


Рис. 7. Затримки пакетів

У RFC 3550 [7] визначено метод інкрементального розрахунку варіації для серії пакетів:

$$J_i = \frac{J_{i-1} + (|D_i - 1_{i-1}| - J_{i-1})}{16}, \quad (3)$$

де J – як середнє відхилення (згладжене абсолютне значення) різниці в пакетному інтервалі приймача пакета в порівнянні з відправником для пари пакетів [8].

Цей підхід використовується в wiProbe для обчислення варіації затримки.

Виникнення варіацій затримки – прямий наслідок природи пакетної комутації IP мережі. В ідеальному випадку, варіації повинні дорівнювати нулю, тобто швидкість доставки пакетів не повинна змінюватися.

Однак, в силу неоднорідності мережевого потоку, що проходить через вузли мережі, а так само внаслідок дії механізмів диференційованого обслуговування мережевого трафіку варіації не є нульовими. Значення параметра PDV буде збільшуватися в моменти перевантажень на інтерфейсах мережних пристроїв [8].

5. Експерименти та результати

З метою перевірки ефективності розробленого програмно-апаратного комплексу було виконано порівняння результатів з Landslide (рис. 8). Landslide – вимірювальна платформа для емуляції різних моделей користувацького трафіку і оцінки ефективності роботи мережі передачі даних мобільного оператора рис. 8 [9].



Рис. 8. Landslide – стресовий аналізатор мережі

wiSLA (Well Integrated Service Level Agreement) – програмно-апаратний комплекс, який виконує вимірювання показників якості на каналах зв'язку і контролює їх відповідність угодою про рівень послуг (SLA).

Основний показник продуктивності системи – обслуговуваний обсяг інфраструктури, який виражається в кількості каналів, по яких, відбувається збір даних і контроль вимірювань [10].

Було проведено три тести з наступними параметрами:

- КВП 20%, ЧЗП 50 мс;
- КВП 40%, ЧЗП 80 мс;
- КВП 60%, ЧЗП 120 мс.

де КВП – коефіцієнт втрати пакетів; ЧЗП – час затримки пакетів.

Модель тестування наведено на рис. 9. В якості моделі тестування було вибрано розробку фірми Rational Software – RUP [11], яка використовує ітеративну модель тестування, де на кожній ітерації досліджувані пристрої передавали вимірювальні дані через систему tc яка створює необхідний режим затримок, та вираховувалися похибки.

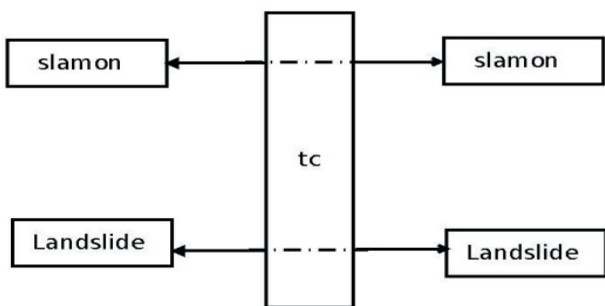


Рис. 9. Модель тестування RUP

В ході дослідження для перевірки коректності результатів використовувалася наступна формула:

$$K_b = \left| \frac{X_1 - X_s}{X_1} \right| \times 100\%, \tag{4}$$

де K_b - коефіцієнт відхилення, X_1 – показники Landslide, X_s – показники slamon.

Результати вимірювань наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Вимірювальні тести

Тест	Landslide	Slamon	Коефіцієнт відхилення (КВП/ ЧЗП)
КВП 20%, ЧЗП 50мс	19,9%,53мс	20,3%, 55мс	1,97%/3,63%
КВП 40%, ЧЗП 80мс	42,3%,85мс	45,8%,89мс	7,64%/4,49%
КВП 60%, ЧЗП 120мс	68,5%,128мс	76,2%,138мс	10,10%/7,24%

Графічні результати вимірювань показників на тестовій ділянці Москва-Калінінград зображено на рис. 10.

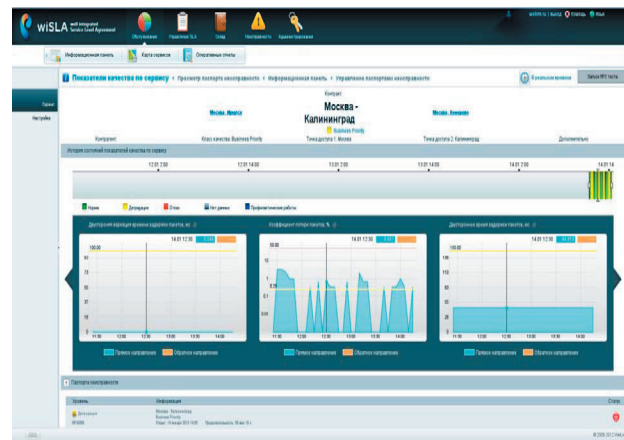


Рис. 10. Показники якості по сервісу

На рис. 10 зображено звіт вимірювань показників на ділянці Москва-Калінінград у вигляді графіків. Показники двосторонньої варіації часу затримки пакетів на графіку зліва, знаходяться в допустимих межах і зняті в прямому напрямку. Середній графік коефіцієнтів втрати пакетів відображає показники, граничні для заданої умови, що не перевищує норму. Показники двостороннього часу затримки пакетів на графіку праворуч є стабільно нормальним і відповідає нормі.

На даному каналі метрики по зворотному напрямку не знімаються.

6. Висновки

Наукова новизна роботи полягає в тому, що розроблено модель вимірювання якості ip-з'єднань, яка реалізована як програмно-апаратний комплекс, що дозволяє проводити вимірювальні тести під критично великим навантаженням мереж. Необхідні характеристики вимірювань реалізовані за рахунок застосування апаратної платформи, що забезпечує необхідну для моніторингу послуг SLA точність і надійність вимірювань.

Застосування в зондах програмних компонентів дозволяє оперативно змінювати функціональність зондів за запитом замовника без зміни апаратної платформи, забезпечуючи прийнятну швидкість змін.

Використання wiProbe в якості клієнтського маршрутизатора забезпечує оптимальне рішення для надання послуг і контролю їх якості в малих і середніх офісах.

Вимірювальні механізми засновані на останніх рекомендаціях і стандартах в галузі метрології і кваліметрії (ITU-T, IETF, MEF і т.д.). У процесі розробки виявлені проблеми безпеки і конфігурування, які були усунені шляхом реалізації нового сервера (CLI, WEB).

В даний час система інтегрована в промислові контури й успішно експлуатується у різних установах.

Література

1. Як не стати хмарі грозовою хмарою [Електронний ресурс] / iksmedia – режим доступу : \www/ URL: <http://www.iksmedia.ru/articles/4533508.html> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
2. ETX-203A Демаркаційні пристрої Carrier Ethernet [Електронний ресурс] / rad – режим доступу : \www/ URL: <http://www.rad.ru/10/21054/> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
3. Зонди сімейства EtherNID [Електронний ресурс] / metrotek – режим доступу : \www/ URL: <http://metrotek.ru/catalog/386/2639/> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
4. Зонди [Електронний ресурс] / wellink – режим доступу : \www/ URL: http://wellink.ru/content/wisla_probes 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
5. SheevaPlug [Електронний ресурс] / SheevaPlug – режим доступу : \www/ URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/SheevaPlug> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
6. IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) [Електронний ресурс] / ietf – режим доступу : \www/ URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
7. A Transport Protocol for Real-Time Applications [Електронний ресурс] / ietf – режим доступу : \www/ URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> - 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
8. Огляд рішення IP Quality Monitor (IQM) [Електронний ресурс] / net-probe – режим доступу : \www/ URL: http://www.net-probe.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=155%3Aiqmoverviewv3&catid=36%3A2009-03-05-13-04-50&Itemid=85&lang=ru 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
9. Landslide [Електронний ресурс] / metrotek – режим доступу : \www/ URL: <http://metrotek.ru/catalog/257/2031/> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
10. Програмно-апаратний комплекс wiSLA [Електронний ресурс] / bi-telecom – режим доступу : \www/ URL: <http://www.bi-telecom.ru/products/wisla/> 03.03.2013 р. – Загл. з екрану.
11. Модулювання програмних систем [Електронний ресурс] / .informicus – режим доступу : \www/ URL: <http://www.informicus.ru/default.aspx?SECTION=6&id=73&subdivisionid>.