

УДК 621.391.1

М.М. Букасов, асист.  
М.О. Комар, асист.  
С.Ф. Теленик, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ПРОЕКТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

*У статті розглядаються проблеми, які виникають при проектуванні, моделюванні та аналізі комп'ютерних мереж і систем передачі даних. Запропонована структура програмно-апаратного комплексу. Розглянуті особливості його реалізації.*

**Вступ.** Стрімкі темпи розвитку комп'ютерних технологій привели до значного збільшення інформаційних потоків практично у всіх сферах народного господарства й у побуті, що, у свою чергу, стимулювало розвиток комп'ютерних мереж, систем передачі даних і телекомунікацій. На ринку з'явилася така кількість виробників, видів устаткування, стандартів і протоколів, що проектування, модифікація і підтримка функціонування сучасної інтегрованої мережі з точки зору оптимальності уявляється досить складною задачею. Дійсно, ще не так давно при проектуванні локальних мереж, для одержання оптимального результату досить було дотримуватись нечисленних вимог, висунутих тим чи іншим стандартом. Пізніше, при проектуванні невеликих корпоративних мереж, бажаний результат досягався при залученні декількох системних інтеграторів, знання, досвід і інтуїція яких дозволяли одержати рішення, близьке до оптимального. Однак сьогодні, коли мова заходить про проектування складних гетерогенних мереж, які інтегрують комп'ютерні, телекомунікаційні і промислові мережі у єдиний інформаційний простір, виникають такі нестандартні задачі, що навіть їхнього досвіду часом виявляється замало. Складність цих задач унеможливує ефективний пошук оптимальних рішень без адекватних інструментальних засобів. Розробленню таких інструментальних засобів і присвячена стаття.

**Мета та задачі.** Перш ніж перейти до описання власне програмно-апаратного комплексу, розглянемо задачі, що виникають на різних етапах життєвого циклу мереж. Найчастіше питання, що пов'язані з оптимізацією, виникають у трьох випадках:

- 1) при проектуванні мережі "з нуля";
- 2) при внесенні структурних чи істотних кількісних змін (наприклад, істотне збільшення трафіку між двома вузлами мережі);
- 3) при експлуатації мережі, якщо дані вимірювань свідчать про необхідність оптимізації (або вона не була здійснена раніше).

Задачі, які при цьому необхідно вирішувати, наведемо у вигляді наступної таблиці.

Задача	Мета	Проектування мережі "з нуля"	Модифікація	Оптимізація
Вибір показників ефективності і критеріїв оптимальності		Так	Так	Так
Визначення трафіка між вузлами мережі		Так	Так	Так
Вибір оптимальної топології (структури) мережі		Так	Частково	Ні*
Вибір устаткування мережі		Так	Так	Ні*
Вибір протоколів і налаштування їхніх параметрів		Так	Так	Так
Методи моделювання, що використовуються		імітаційне моделювання (ІМ)	ІМ, ІМ у реальному часі, натурне моделювання (НМ)	НМ

\* – можливі незначні зміни.

Вибір показників ефективності є одним з найважливіших питань при оптимізації, оскільки підлягає оптимізації не сама мережа, а певні, властиві їй показники функціонування. Деякі з цих показників є суперечливими. Наприклад, прагнення зменшити втрати вірогідності

переданої інформації неминуче приведе до зменшення продуктивності мережі, оскільки підвищення вірогідності повідомлень так чи інакше пов'язано із збільшенням інформаційної і/або функціональної надлишковості. Тому при оцінюванні ефективності функціонування мережі, з одного боку, необхідно правильно вибрати показники ефективності різних компонентів системи (часткові показники ефективності), а з іншого боку, важливо встановити об'єктивні взаємозв'язки між цими частковими показниками для того, щоб найбільш точно здійснити комплексну оцінку ефективності мережі в цілому і, за необхідності, порівняти різні варіанти мережі між собою.

При оцінці ефективності мережі звичайно визначають:

- 1) максимальний чи середній обсяг інформації, що передається в мережі за одиницю часу (продуктивність мережі);
- 2) вірогідність повідомлень що передаються;
- 3) середня кількість повідомлень, загублених при передачі;
- 4) час передачі повідомлень різних категорій терміновості;
- 5) надійність зв'язку між будь-якою парою вузлів;
- 6) вартість устаткування і його експлуатації тощо.

При цьому показники ефективності повинні відповідати наступним вимогам:

- 1) досить повно відбивати ефективність того чи іншого компонента чи мережі в цілому і максимально враховувати фактори, що впливають на даний показник;
- 2) бути кількісним, тобто однозначно виражатися деяким числом, що дозволить забезпечити ефективність оцінок при порівнянні;
- 3) бути ефективним у статистичному змісті, тобто мати досить малу дисперсію і визначатися з необхідною точністю при припустимих витратах на оцінювання і/або часі оцінювання;
- 4) ґрунтуватися на технічних параметрах засобів, що використовуються у мережі, і бути зручним в інженерних розрахунках;
- 5) забезпечувати зручність і достатню простоту експериментальної перевірки.

Призначенням будь-якої комп'ютерної мережі є передача даних з одного вузла в інший, тому визначення бажаного трафіка між кінцевими вузлами (абонентами), що породжений застосуваннями прикладного рівня, по суті є визначенням основних вихідних даних для проектування, модернізації чи оптимізації вже існуючої мережі. З іншого боку, трафік, що виникає між усіма, у тому числі і проміжними, вузлами комутації є результатом роботи мережі. При цьому на різних етапах життєвого циклу мережі, ці два види трафіка можуть визначатися різними способами.

На *стадії проектування* обсяг вихідного трафіка визначається експертом, виходячи з задач, які передбачається вирішувати в мережі, або він визначається більш точно за допомогою аналітичних методів (якщо є така можливість, наприклад, в промислових мережах телевізійного зв'язку, у яких опитування датчиків здійснюється через задані проміжки часу). Підсумковий трафік може бути промодельований у найпростішому випадку аналітично, що буває вкрай рідко, або за допомогою методів імітаційного моделювання.

На *стадії оптимізації*, як правило, немає рації в імітаційному моделюванні або залученні експертів, оскільки трафік може бути виміряний за допомогою спеціальних приладів - протокольних аналізаторів, програм-сніферів, аналізу логів чи іншим способом.

На *стадії модернізації* робота мережі може бути промодельована двома способами:

- 1) створюється модель усєї мережі (існуючої і передбачуваної), яка досліджується в системі моделювання;
- 2) створюється модель відсутньої підмережі, яка за допомогою імітатора, що працює в режимі реального часу, підключається до існуючої мережі, після чого проводиться натурне моделювання з залученням засобів, розглянутих на стадії оптимізації. На жаль, через великий обсяг обчислень даний метод може ефективно застосовуватися лише для низькошвидкісних каналів зв'язку.

Аналогічними методами виконуються дослідження при вирішенні задач вибору оптимальної топології, устаткування, а також протоколів і настроювання їхніх параметрів.

**Структура програмно-апаратного комплексу.** Існує низка програмних і апаратних засобів, що дозволяють вирішувати одну або декілька із перелічених вище задач. Найбільш істотним їхнім недоліком є те, що вони не дозволяють вирішувати всі необхідні задачі на етапах

проектування, модернізації, оптимізації мереж. Другим недоліком цих засобів є їх спрямування на певні види мереж, іноді з досить істотними обмеженнями. Крім того, перенесення даних між цими засобами ускладнюється тим, що вони, як правило, використовують унікальні, несумісні один з одним формати даних. У результаті користувачі змушені витратити засоби на придбання декількох продуктів у різних виробників, витратити час на їхнє освоєння, а також, у разі потреби, на перенесення даних з однієї програми (чи пристрою) в іншу.

Таким чином, виникла необхідність створення єдиного інструментального засобу, за допомогою якого можна було б вирішувати наведені вище задачі. Структура такого програмно-апаратного комплексу наведена на рис. 1.

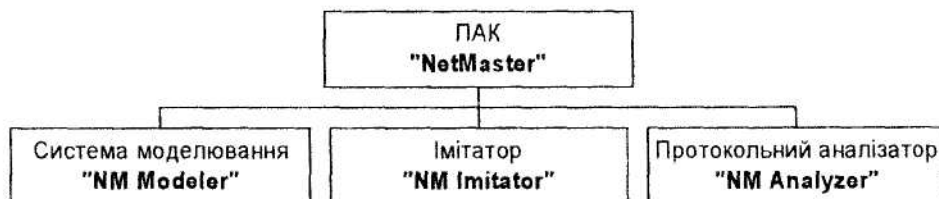


Рис. 1. Структура ПАК "Net Master"

Як бачимо, програмно-апаратний комплекс "NetMaster" складається з трьох основних частин: системи моделювання мереж (комп'ютерних, промислових, інтегрованих) "NM Modeler", імітатора, що функціонує в реальному масштабі часу, "NM Imitator", і протокольного аналізатора "NM Analyzer". Взаємодія цих підсистем зображена на рис. 2.

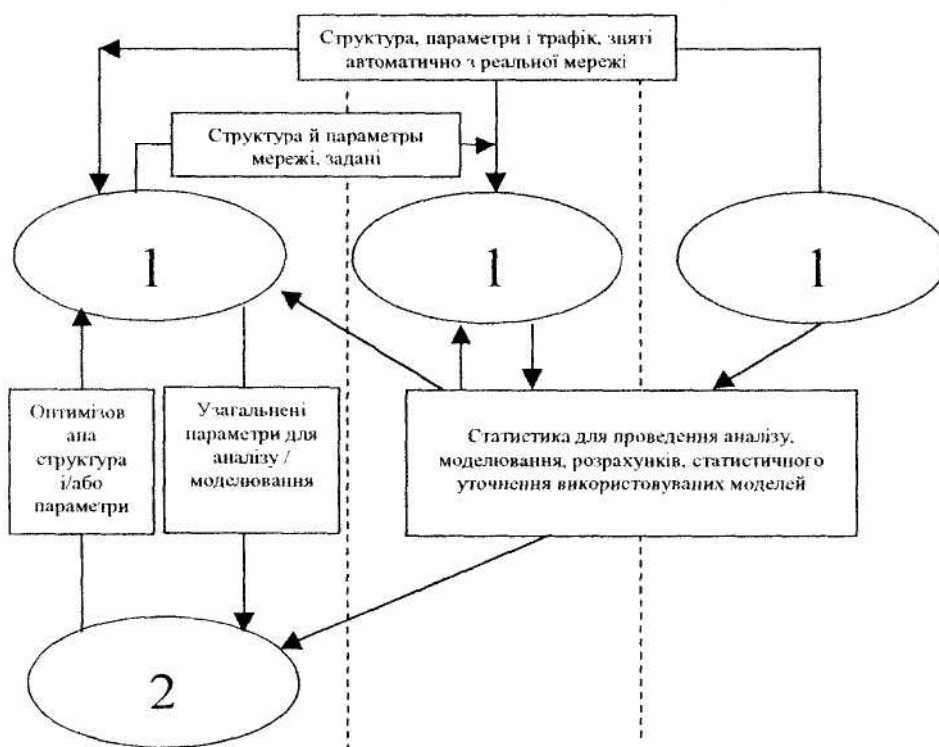


Рис. 2. Взаємодія підсистем ПАК "NetMaster".

Імітаційне моделювання в ПАК реалізовано двома способами (рис. 2):

1) точне відтворення функціонування на рівнях 2,3,4 еталонної моделі взаємодії відкритих систем (ЕМВВС) з можливістю підключення додаткових модулів, що імітують роботу більш високих рівнів;

2) узагальнене моделювання на рівні систем масового обслуговування (СМО).

Перевагами першого способу є можливість варіювання й оптимізації конкретних параметрів мережі, імітації роботи мережі в режимі реального часу. Перевагами другого способу є

можливість застосування математичного апарату теорії СМО, а також більш висока швидкодія при моделюванні, а недоліком - певна втрата точності.

**NM Modeler.** Система моделювання NM Modeler є головною складовою комплексу, оскільки проектування, моделювання й аналіз мережі здійснюються саме в ній. При проектуванні мережі з нуля її схема може задаватися користувачем за допомогою зручного графічного інтерфейсу і підказок експертної системи. При дослідженні вже існуючої мережі її структура і параметри можуть бути зняті й експортовані протокольним аналізатором NM Analyzer. Крім того, може бути експортована для аналізу статистика, накопичена NM Analyzer чи NM Imitator.

Як зазначено вище, моделювання в NM Modeler може здійснюватися двома способами. При цьому, у випадку використання другого способу передбачена можливість автоматичної генерації моделюючої програми на мові GPSS (General Purpose System Simulation). Зрозуміло, модель будується з деякими узагальненнями і, як наслідок, утратою точності.

Найбільш ефективним підходом при проектуванні мереж є використання на перших етапах аналітичних методів, які дозволяють одержати узагальнене наближене рішення, з наступним "делікатним" настроюванням мережі шляхом варіювання окремих параметрів і проведення статистичних випробувань із застосуванням методів натурального чи імітаційного моделювання.

Найчастіше при проектуванні мереж на перших етапах виникає потреба у вирішенні задач таких чотирьох типів:

- вибір пропускних здатностей (ВПЗ) ;
- розподіл потоків (РП) ;
- вибір пропускних здатностей і розподіл потоків (ВПЗ і РП) ;
- вибір топології, пропускних здатностей і розподіл потоків (ВПЗ і РП).

Розглянемо ці задачі оптимізації, що відрізняються тільки множинами змінних, що варіюються при проектуванні. У кожній з цих задач мінімізується середній час переправлення повідомлення  $T$  і вважається, що задано місцеположення вузлів, вимоги до зовнішнього трафіку, вартості каналів  $d_i(C_i)$ , обмеження щодо вартості  $D$ , а також передбачається, що використані потоки  $\{\lambda_i\}$  можуть бути реалізованими, тобто вони погоджені з пропускними здатностями й обмеженнями на зовнішній трафік. Зупинимося детальніше на формулюванні цих задач.

*Задача вибору пропускних здатностей (ВПЗ).*

Дано: потоки  $\{\lambda_i\}$  і топологія мережі.

Мінімізувати:  $T$ .

Варіюється:  $\{C_i\}$ .

Обмеження:  $D = \sum_{i=1}^M d_i(C_i)$ .

*Задача розподілу потоків (РП).*

Дано: пропускні здатності  $\{C_i\}$  і топологія мережі.

Мінімізувати:  $T$ .

Варіюється:  $\{\lambda_i\}$ .

*Задача вибору пропускних здатностей і розподілу потоків (ВПЗ і РП).*

Дано: топологія мережі.

Мінімізувати:  $T$ .

Варіюється:  $\{C_i\}$  і  $\{\lambda_i\}$ .

Обмеження:  $D = \sum_{i=1}^M d_i(C_i)$ .

*Задача вибору топології, пропускних здатностей і розподілу потоків (ВПЗ і РП).*

Мінімізувати:  $T$ .

Варіюється: топологічні варіанти,  $\{C_i\}$  і  $\{\lambda_i\}$ .

Обмеження: 
$$D = \sum_{i=1}^M d_i(C_i).$$

Слід зазначити, що можливості ПАК "Net Master" з точки зору аналітичного моделювання не зводяться до вирішення тільки цих чотирьох типів задач. Передбачена можливість підключення додаткових модулів (plug-in), що містять алгоритми для вирішення широкого кола інших задач оптимізації (наприклад мінімізувати вартість D при заданій середній затримці T тощо). При підключенні такого модуля у вузлів і каналів зв'язку (це єдині об'єкти, з якими пакет працює на аналітичному рівні) у вікні властивостей можуть з'явитися додаткові параметри, описані в модулі, що підключається, і є вихідними даними, або результатом вирішення задачі.

При розробленні комплексу використаний об'єктно-орієнтований підхід. За допомогою об'єктно-орієнтованого аналізу була визначена система класів, що моделює елементи і функціонування комп'ютерних мереж, і систем передачі даних та телекомунікацій.

Комплекс побудований на модульному принципі. Це дозволяє розширювати і додавати до існуючих компонентів нові, що моделюють пристрої, протоколи, технології передачі даних тощо.

Всі елементи мережі, що є вузлами (сервер, робоча станція, маршрутизатор тощо), становлять собою класи що успадковують від загального класу "Вузол" (Node), але мають специфічні властивості і поведінку. Кожен такий клас може містити довільну кількість об'єктів класу "Мережевий інтерфейс" (Netinterface), який, наприклад, визначає собою модель мережевого адаптера в персональному комп'ютері чи порт комутатора. У свою чергу "Мережевий інтерфейс" може містити класи "Протокол", що моделюють рівні EMVBC чи конкретні мережеві протоколи обміну даними. Клас "Протокол" містить у собі найбільш загальні елементи, характерні для пакетів усіх рівнів, наприклад, розмір заголовка і даних, відповідні рівні EMVBC, що дозволяє емулювати передачу даних між різними рівнями.

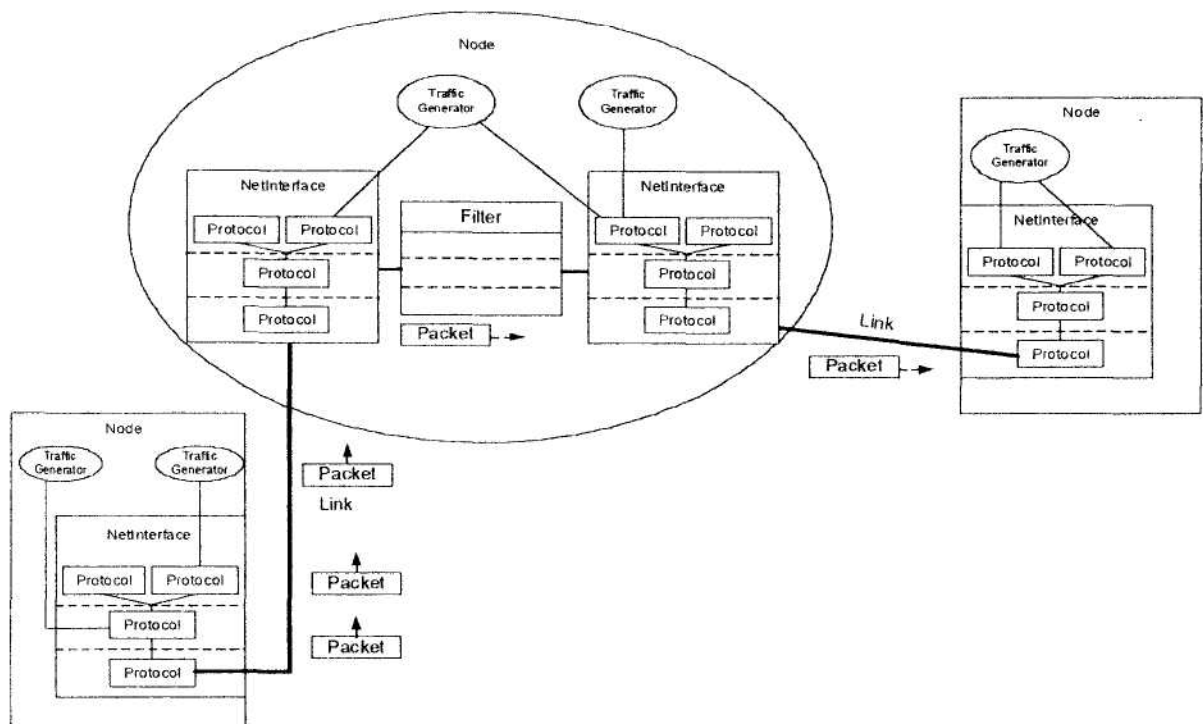


Рис. 3. Взаємодія об'єктів NetMaster

Клас "Канал зв'язку" (Link) містить у собі дані і методи, що моделюють канал чи лінію зв'язку, а клас "Пакет" (Packet) зображує повідомлення, що передаються в мережі. Клас "Генератор трафіка" (TrafficGenerator) відповідає за створення і розміщення в мережі повідомлень відповідно із законом розподілу, що задається користувачем. Всі класи, що успадковують від класу "Фільтр" (Filter), зображують різноманітні мережеві фільтри, крізь

які можуть проходити макети даних, наприклад, таблиці маршрутизації, брандмауери тощо. Взаємодія об'єктів цих класів зображена на рис. 3.

Істотно зменшити час проектування й уникнути багатьох помилок дозволяє експертна система, що є важливою складовою ПАК. Кожен об'єкт, що зберігається в базі знань (наприклад, пристрій, протокол, лінія зв'язку тощо) належить одному класу і, можливо, декільком підкласам. Кожен підклас визначає властивості, що повинні бути задані в його об'єкті, крім того, побудована система правил, що визначають відносини між цими підкласами. Ці правила розділені на три типи, що:

1) *дозволяють* - працюють за принципом "усе що дозволено - не заборонено";

2) *забороняють* - працюють за принципом "усе що заборонено - не дозволено";

3) *інформують* - попереджають користувача про потенційні помилки, неефективні рішення в процесі проектування системи і т.п.

Якщо властивість об'єкта є чисельним параметром, то для роботи з ним визначені операції порівняння  $>$ ,  $<$ ,  $>=$ ,  $<=$ ,  $=$ ,  $<>$ . Наприклад, при спробі з'єднання двох пристроїв за допомогою лінії зв'язку, для кожного з них буде виконана перевірка правила

"Пристрій". "Швидкість передачі"  $<=$  "Лінія зв'язку". "Пропускна здатність".

Якщо властивість об'єкта є логічним параметром, то для роботи з ним визначені логічні функції AND, OR, NOT, XOR, EQU, IMP.

Якщо властивість є множиною, то для роботи з нею визначені теоретико-множинні операції.

Користувачу надано можливість створювати нові класи, наділяти їх специфічними властивостями, визначати правила тощо.

**NM Imitator** становить персональний комп'ютер із установленим на ньому програмним забезпеченням і одним чи декількома інтерфейсами, через які здійснюється підключення до фізичної мережі для імітації в режимі реального часу фрагменту мережі (на даний момент реалізоване підключення через Ethernet і RS-232C).

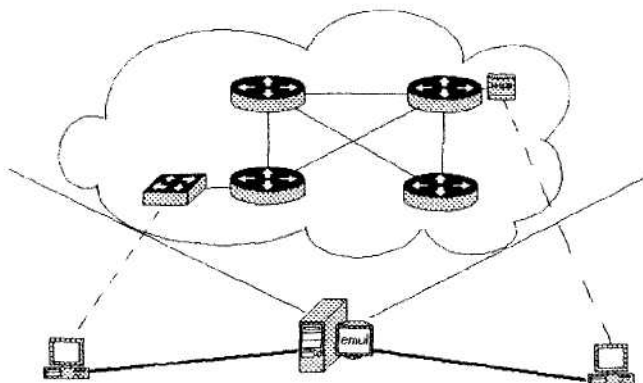


Рис. 4. Підключення NM Imitator до двох сегментів мережі

Вихідними даними для роботи NM Imitator є структура і параметри мережі, створеної в NM Modeler. Крім оброблення зовнішнього "фізичного" трафіка, система імітує внутрішній "віртуальний" трафік. Цей трафік може бути заданий користувачем у NM Modeler, або вимірний у реальній мережі за допомогою NM Analyzer.

Оскільки функціонування імітатора пов'язане з виконанням великого обсягу обчислень, ефективно його застосування можливе або при тестуванні низькошвидкісних каналів зв'язку (модемне з'єднання, виділена лінія, промислова мережа тощо), або при імітації невеликих мереж з помірним трафіком.

**NM Analyzer** становить персональний комп'ютер із установленим на ньому програмним забезпеченням, що виконує функції протокольного аналізатора. Крім цього передбачена можливість збирання інформації про мережу за допомогою протоколу SNMP (Simple Network Management Protocol). Також передбачена можливість підключення додаткових модулів з описом протоколів і інтерпретаторів вихідних даних інших протокольних аналізаторів.

**Висновки.** ПАК "Net Master" проходить дослідні випробування. В перспективі планується його розвиток з метою розширення системи показників ефективності, охоплення найбільш поширених існуючих технологій передачі даних, протоколів, обладнання тощо.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Олифер В., Олифер Н.* Новые технологии и оборудование IP-сетей. – СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2000. – 512с.
2. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия – СПб.: «Питер», 1999. – 704 с.
3. *Гук М.* Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия – СПб.: «Питер», 2000. – 576 с.
4. *Якобсон А., Буч Г., Рамбо Дж.* Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. – СПб.: «Питер», 2002. – 496 с.

БУКАСОВ Максим Михайлович – асистент кафедри автоматички і управління в технічних системах Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

- системи передачі даних;
- електроніка і мікропроцесорна техніка;
- програмування.

Тел: (044) 241-70-39

E-mail: [bukasov@acts.ntu-kpi.edu.ua](mailto:bukasov@acts.ntu-kpi.edu.ua)

КОМАР Максим Олександрович – асистент кафедри автоматички і управління в технічних системах Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорна техніка;
- програмування;
- мережі і системи передачі даних.

Тел: (044) 241-70-39

E-mail: [komar@acts.ntu-kpi.edu.ua](mailto:komar@acts.ntu-kpi.edu.ua)

ТЕЛЕНИК Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматички і управління в технічних системах Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

- штучний інтелект;
- автоматизація програмування та проектування;
- математична логіка;
- комп'ютерна лінгвістика.

Тел: (044) 241-70-39

E-mail: [telenik@acts.ntu-kpi.edu.ua](mailto:telenik@acts.ntu-kpi.edu.ua)

Подано 17.08.2002