

УДК 621.391

В.А. КАПТУР, Є.В. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, О.О. ЯНІНА

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Україна

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТУНЕЛЮВАННЯ ГОЛОСОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ З АГРЕГАЦІЄЮ СЕСІЙ ТА КОМПРЕСІЄЮ ЗАГОЛОВКІВ

В роботі розглянуто імітаційну модель тунелю побудованого на базі запропонованого авторами методу мінімізації службової інформації при тунелюванні IP-навантаження. За допомогою розробленої моделі проведено дослідження залежності низки показників ефективності запропонованого методу від часу агрегації, максимальної кількості суб-пакетів тощо. Проведені дослідження показали високу ефективність розробленого авторами методу мінімізації надлишковості службової інформації в умовах збільшення обсягів навантаження.

**Ключеві слова:** імітаційне моделювання, стиснення голосового навантаження, IP-телефонія, протокольна надлишковість.

### Вступ

Дослідження принципів тунелювання голосового навантаження [1–2], що використовуються в сучасних телекомунікаційних мережах, показали стрімке зменшення ефективності використання каналів зв'язку за рахунок протокольної надлишковості. Це пояснюється, насамперед, застосуванням схем інкапсуляції, які передбачають, як правило, передавання 40 байт службової інформації на кожні 20 байт корисного навантаження.

За рахунок збільшення розміру кожного пакета, що містить голосове навантаження, збільшується й обсяг необхідної пропускну здатності каналів зв'язку [3], що в свою чергу часто потребує модернізації існуючих або будівництва нових каналів зв'язку навіть при несуттєвому зростанні обсягів корисного навантаження.

Вирішенням цієї проблеми може бути запропонований авторами метод мінімізації службового навантаження [1], який базується на принципах збереження інформації про чинні контексти RTP-сесій із застосуванням процедури агрегації пакетів з паралельних RTP-сесій. Попередні дослідження ефективності методу показали потенційну здатність запропонованого методу зменшити загальний обсяг навантаження, що передається крізь канал зв'язку при тунелюванні голосового навантаження, в 1,5–3,5 рази в залежності від кількості одночасних RTP-сесій.

Слід однак зазначити, що більш коректна оцінка ефективності запропонованого методу, яка дозволить провести дослідження його ефективності в різних умовах (зміна часу агрегації фреймів, зміна кількості джерел навантаження, зміна умов передавання інформації тощо) можлива лише при розробці відповідних імітаційних та математичних моделей.

**Метою роботи** є розробка імітаційної моделі тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків, яка дозволить одержати більш точні показники ефективності для різних випадків та оцінити вплив запропонованого методу на реальне навантаження.

### Результати досліджень

Не зважаючи на те, що сьогодні існує велика кількість систем для розробки та дослідження імітаційних моделей різного призначення [4], імітаційну модель тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків створено на базі платформи власної розробки. Такий підхід пояснюється необхідністю аналізу значних обсягів зовнішньої інформації, яку отримано за результатами мережного моніторингу.

В основу моделі покладено покроковий алгоритм (рис. 1), який включає три основних етапи (кроки) моделювання:

- формування вихідних даних для моделювання;
- внесення параметрів моделювання;
- безпосередньо моделювання роботи тунелю та оцінка результатів моделювання.

На першому етапі передбачається два можливі варіанти одержання вихідних даних:

- безпосередньо з результатів мережного моніторингу;
- на основі імітації голосового навантаження необхідної тривалості від заданої кількості джерел.

В обох випадках основою є попередньо оброблені дамп-файли, отримані від будь-якого аналізатору мережних протоколів. Структурно такі файли являють собою послідовність текстових рядків, де кожен ряд символізує надходження одного пакету. При цьому кожен пакет має такі характеристики, як розмір (у байтах), час надходження та ідентифікатор сесії (у вигляді чотирьох компонент – «IP-адреса

відправника + номер порту відправника + IP-адреса одержувача + номер порту одержувача»).

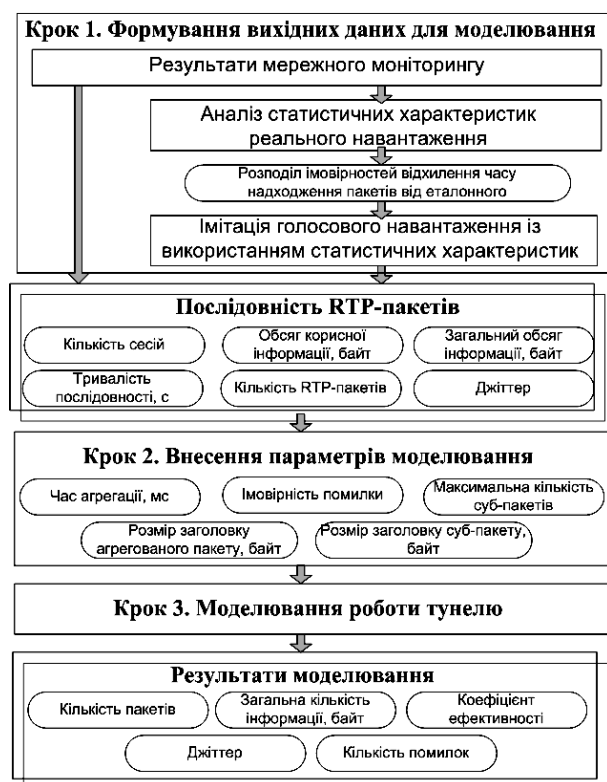


Рис. 1. Загальний алгоритм роботи моделі

Слід однак зазначити, що якщо у першому випадку для формування досліджуваної послідовності RTP-пакетів використовується безпосередньо інформація одержана з дамп-файлу, то у другому випадку імітація відбувається на основі статистичних характеристик, одержаних на підставі аналізу реального навантаження. Аналіз реального навантаження полягає у визначенні ймовірностей відхилення часу надходження пакетів від еталонного часу (тобто часу з яким пакети поступають до мережі від джерела голосового навантаження). Таким чином імітація голосового навантаження здійснюється шляхом коригування часу надходження пакетів на основі еталонної послідовності необхідної тривалості.

Результатом роботи першого кроку є послідовність RTP-пакетів кожен з яких представлено часом надходження, унікальним ідентифікатором сесії та розміром. Аналіз цієї послідовності дозволяє оцінити такі характеристики, як кількість сесій, обсяг корисної та загальний обсяг інформації, тривалість послідовності (в секундах та пакетах), а також провести оцінку джиттеру [2] аналізованої послідовності (усереднену та за кожною сесією окремо).

На другому кроці моделювання передбачається внесення параметрів, які (відповідно до принципів роботи запропонованого механізму) безпосередньо впливають на показники ефективності. Прикладами таких параметрів можуть бути: час агрегації (пара-

метр який визначає тривалість очікування компресором RTP-пакетів для інкапсуляції в єдиний агрегований пакет), ймовірність помилки (є параметром, який певним чином може визначати якість каналу зв'язку), максимальна кількість суб-пакетів в агрегованому пакеті (ще один параметр, який використовується компресором для оцінки повноти формування агрегованого пакету), розміри заголовків агрегованого пакету та суб-пакету (параметри які безпосередньо впливають на загальний обсяг інформації, який буде отриманий на іншому кінці тунелю).

На третьому етапі роботи моделі відбувається безпосередньо моделювання роботи тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків. Процес моделювання полягає в послідовній обробці вихідної послідовності RTP-пакетів алгоритмом роботи компресору [1] із застосуванням параметрів моделювання заданих на попередньому кроці. Результатом третього кроку є послідовність агрегованих пакетів, кожен з яких містить ту чи іншу кількість «повних» або «не повних» суб-пакетів. Результати моделювання представлено у вигляді набору характеристик отриманої послідовності, який включає: загальну кількість пакетів та обсяг інформації, коефіцієнт ефективності (відношення обсягу інформації на вході декомпресора к обсягу інформації на вході компресора), значення джиттера та інші параметри, які дозволяють оцінити ефективність застосування пропонованого механізму.

Програмна реалізація імітаційної моделі виконана в середовищі Visual C++ 6.0. Реалізація моделі у вигляді окремого ПЗ пояснюється необхідністю обробки даних мережного моніторингу, які представлені у вигляді дамп-файлів, а також підвищеними вимогами до швидкості моделювання. Завдяки можливості оптимізувати обчислювальні процедури час моделювання значно скорочується у порівнянні із аналогічним часом, який показують універсальні засоби імітаційного моделювання. Інтерфейс імітаційної моделі наведено на рис. 2.

Верхня частина інтерфейсу (рис. 2) може бути використана з метою формування вихідних даних для моделювання, як через завантаження файлу, так і через імітацію голосового навантаження. Результати аналізу вихідних даних розташовані у двох списках у другій за порядком секції. У наступній за порядком секції розташовані поля для введення параметрів моделювання. В секції, що розташована в низу діалогу, розміщується список із результатами моделювання. Вихідні дані, параметри та результати моделювання можуть бути збережені до спеціального текстового файлу.

Найважливішим показником, який демонструє в скільки разів можна зменшити необхідну пропускну спроможність каналу зв'язку при застосуванні запропонованого в роботі механізму тунелювання, є «коефіцієнт ефективності». Відповідно до принципів роботи тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків

(«TASK3») [1] значення цього коефіцієнту визначається кількістю голосових фреймів від різних сесій, які потрапили до компресора на протязі «часу агрегації». Зрозуміло, що ця кількість голосових фреймів напряму визначається кількістю одночасних голосових сесій, що передається крізь тунель. З метою оцінки залежності «коефіцієнту ефективності» від «часу агрегації» та кількості одночасних сесій за допомогою розробленої імітаційної моделі послідовно було проведено 13 моделювань (при зміні часу агрегації від 3 до 15 мс) для 5, 7, 9 та 11 одночасних сесій. Імітацію було організовано із використанням імовірнісних характеристик реального потоку голосових фреймів.

Результати імітаційного моделювання зведено до графіку зображеного на рис. 3. Тривалість кожної сесії при моделюванні складала 100 секунд. Розмір заголовків агрегованого пакету та міні-заголовку було обрано рівними 2 та 4 байтам відповідно. Максимальну кількість суб-пакетів в агрегованому пакеті було обрано рівним 20 (таким чином, щоб це значення не впливало на результати моделювання), а імовірність помилки при передаванні пакету крізь тунель складала 0.0005 (0,05% втрат). Як видно з рис. 3 ефективність використання пропонованого механізму стрімко зростає при збільшенні «часу агрегації» до певної межі, після якої «коефіцієнт ефективності» практично перестає залежати від цього параметру. Слід зазначити, що значення «часу агрегації» при якому наступає такий ефект є різним для різної кількості сесій (чим більша кількість сесій, тим більше значення цієї межі). Такий ефект легко пояснити тим, що кількість голосових фреймів, які надходять до тунелю на протязі міжфреймового інтервалу (20 мс для кодека G.729), напряму залежить від кількості одночасних сесій. В свою чергу збільшення кількості голосових фреймів пояснює збільшення імовірності потрапляння фрейму до визначеного інтервалу агрегації. Однак, стрімке зростання імовірності має місце лише на ділянці коли кількість голосових фреймів можна співвіднести із кількістю одночасних голосових сесій. Це пояснюється тим, що імовірність потрапляння голосового фрейму в проміжок між розміром «часу агрегації» (наприклад, 11 мс для 11 одночасних сесій) та розміром міжфреймового інтервалу (20 мс для наведено вище приклада) різко зменшується. При цьому загальна ефективність або зростає значно повільніше або взагалі перестає зростати на цьому діапазоні «часу агрегації».

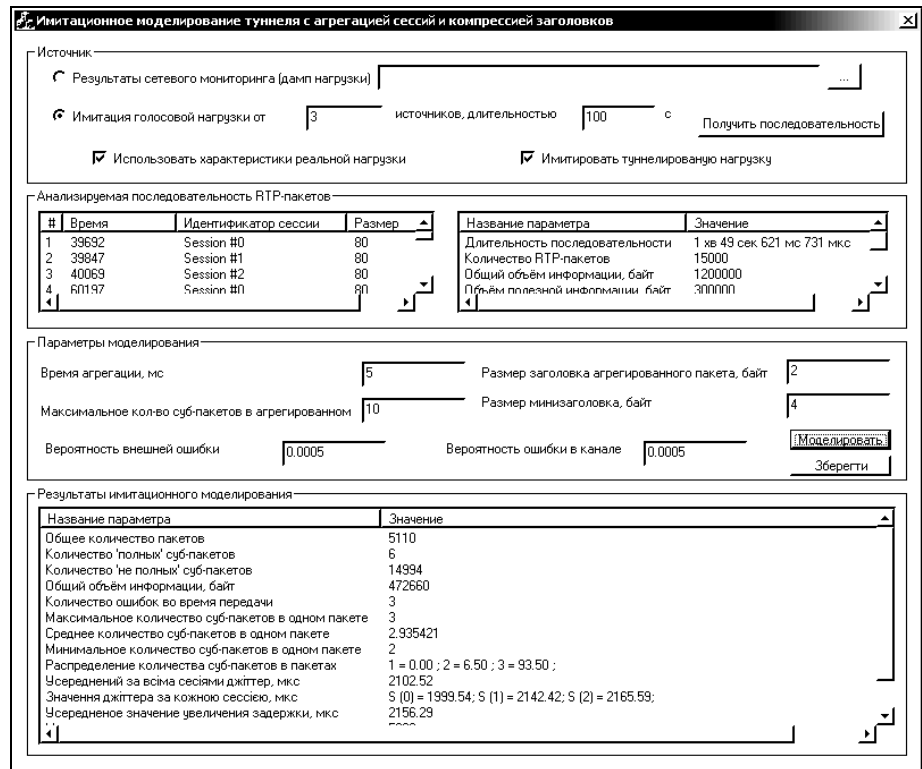


Рис. 2. Інтерфейс імітаційної моделі

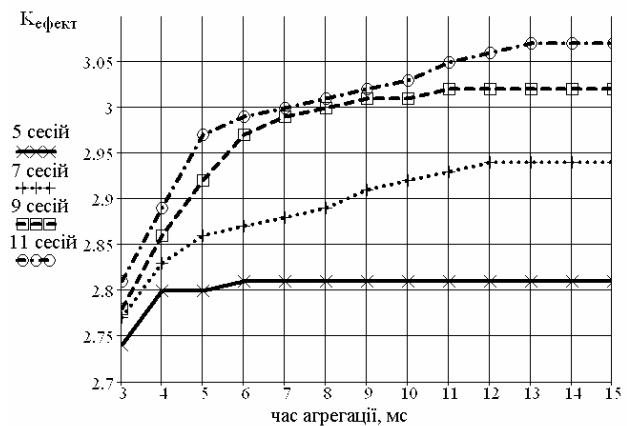


Рис. 3. Залежність «коефіцієнту ефективності» від «часу агрегації»

Ще одним обмежуючим фактором для зростання ефективності є максимальна кількість суб-пакетів в межах одного агрегованого пакету. З метою аналізу залежності «коефіцієнту ефективності» від максимальної кількості суб-пакетів в межах агрегованого пакету було проведено 13 моделювань (при зміні максимальної кількості суб-пакетів від 3 до 15) для 5, 7, 9 та 11 одночасних сесій. Параметри та спосіб моделювання відповідають використаним у попередньому дослідженні, за тим лише виключенням, що замість фіксованої кількості суб-пакетів було використано фіксоване значення «часу агрегації», яке становило 20 мс.

Результати імітаційного моделювання зведено до графіку зображеного на рис. 4.

З рис. 4 видно, що максимальна кількість суб-пакетів в агрегованому пакеті при досягненні певної

межі дуже різко впливає на значення «коефіцієнту ефективності» в сторону уповільнення його збільшення. Такий характер графіку пояснюється тим, що компресор (при вході пакетів до тунелю) завершує формування агрегованого пакету при досягненні певної кількості суб-пакетів. Це призводить до того, що відношення обсягу службової інформації, що передається разом із голосовими фреймами до обсягу корисної інформації перестає зменшуватись навіть при дуже великій кількості одночасних сесій.

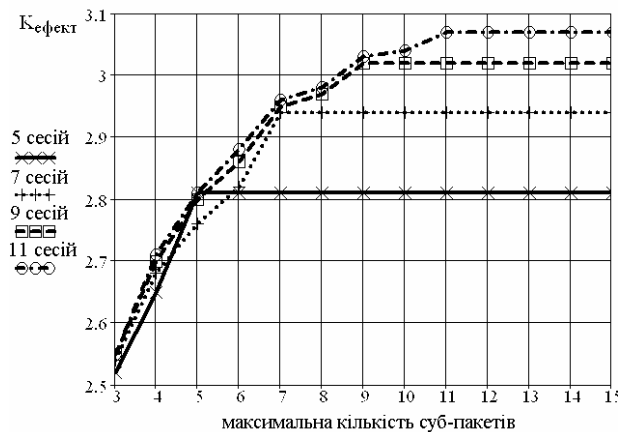


Рис. 4. Залежність «коефіцієнту ефективності» від максимальної кількості суб-пакетів в агрегованому пакеті

Слід зазначити, що такий характер залежності дозволяє використати максимальну кількість суб-пакетів, як основний механізм управління роботою тунелю.

Зрозуміло, що однією з причин ефекту мінімізації службової інформації в пропонованому механізмі є внесення додаткової затримки до сесій, голосові фрейми яких в більшості випадків перебувають на початку агрегованих пакетів. При цьому максимальний розмір такої додаткової затримки не може перевищувати розміру часу агрегації, а для деяких сесій додаткова затримка взагалі може не вноситься.

З метою оцінки ступеня впливу часу агрегації на формування додаткової затримки було проведено низку моделювань результати яких зображено на рис. 5. Параметри та спосіб моделювання відповідають використаним у попередніх двох дослідженнях, з встановленням фіксованої максимальної кількості суб-пакетів (20 суб-пакетів). З графіку на рис. 5 видно, що середній розмір додаткової затримки залежить переважно від часу агрегації і практично не змінюється при збільшенні кількості одночасних сесій в тунелі.

Ще однією важливою характеристикою голосового навантаження, яку доцільно дослідити за допомогою розробленої імітаційної моделі, є джиттер. Адже саме джиттер є одним з найважливіших показників якості при організації телефонного зв'язку за допомогою технологій IP-телефонії.

На рис. 6 наведено графік залежності усередненого значення джиттеру (для голосового навантаження на виході тунелю) від значення часу агрегації.

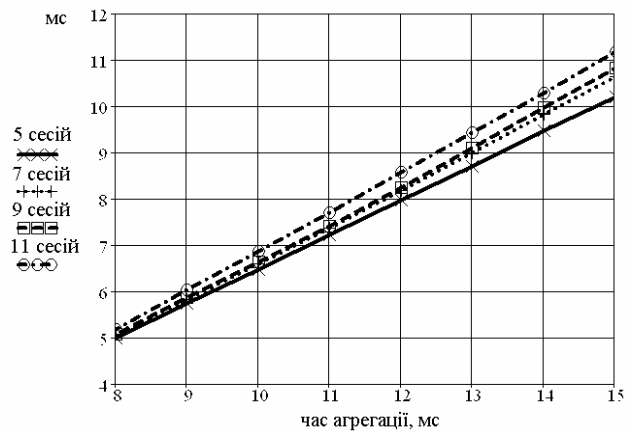


Рис. 5. Залежність середнього часу затримки від «часу агрегації»

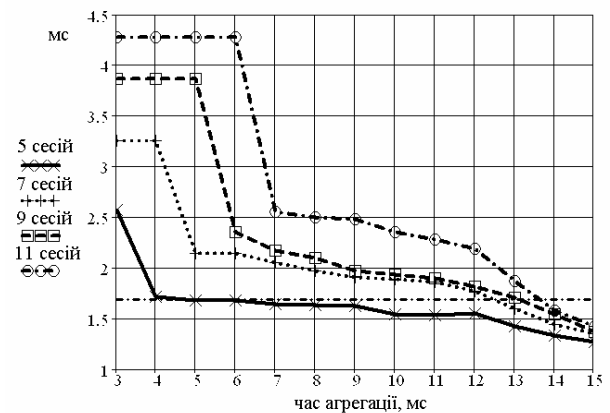


Рис. 6. Залежність усередненого значення джиттеру від «часу агрегації»

Жирною штрих-пунктирною лінією на графіку (рис. 6) показано значення джиттеру на вході тунелю для одинадцяти одночасних сесій. Як видно з результатів імітаційного моделювання середнє значення джиттеру до певної межі (для кожної з кількості сесій) приймає значення, які перевищують той рівень джиттеру, який мало голосове навантаження на вході до тунелю. Однак при великих розмірах часу агрегації спостерігається різке зменшення усередненого за всіма сесіями значення джиттеру. При цьому, як правило, вже при значеннях часу агрегації 13-15 мс усереднений розмір джиттеру стає меншим за той, який мало навантаження на вході до тунелю. Це пояснюється тим, що збільшення періоду очікування надає пропонованому механізму властивостей джиттер-буфера. При цьому при малих значеннях часу агрегації значення джиттеру може дещо збільшуватися (що може призвести до незначного погіршення якості зв'язку).

## Висновки та результати

1. Запропонована в роботі імітаційна модель дозволяє проводити повноцінне моделювання роботи тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків.

2. Ефект зростання ефективності використання тунелю спостерігається лише до певного (кордонного) значення «часу агрегації». При цьому кордонне значення збільшується при збільшенні кількості одночасних сесій, що підтверджує доцільність застосування пропонованого механізму саме для організації взаємопідключень між комутаторами IP-телефонії з великим та середнім обсягом обміну навантаженням.

3. Як альтернатива «часу агрегації», для регулювання процесу компресії навантаження, може використовуватись максимальна кількість суб-пакетів в агрегованому пакеті. Зменшення (або збільшення) цього параметру так само впливає на роботу механізму, як і зміна «часу агрегації», однак може бути більш зручним при програмній реалізації тунелю.

4. При збільшенні «часу агрегації» спостерігається зростання середнього часу затримки IP-пакетів та зменшення усередненого рівня джиттера за рахунок властивостей джиттер-буферу, притаманній запропонованому механізму.

5. Розроблені в рамках імітаційної моделі алгоритми можуть бути використані в програмній

реалізації тунелю з агрегацією сесій та компресією заголовків для визначення оптимального для поточної ситуації значення «часу агрегації» при заданих мережним адміністратором кордонних значень затримки та джиттера.

## Література

1. *Каптур В.А. Метод мінімізації службової інформації при тунелюванні IP-навантаження / В.А. Каптур, Є.В. Добровольський, О.О. Яніна // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 4 (38) – С. 91-98.*
2. *Таненбаум Э. Компьютерные сети / Таненбаум Э. – СПб.: Питер, 2005. – 992 с.*
3. *Каптур В.А. Визначення достатньої пропускної спроможності взаємопід'єднання мереж з комутацією пакетів / В.А. Каптур, Д.І. Сініна // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1. – С. 44-52.*
4. *CPN Tools: A Tool for Editing and Simulating Coloured Petri Nets / [M. Beaudouin-Lafon, W.E. Mackay et al.]. – 2001. – 580 p. – DOI: 10.1007/3-540-45319-9\_39.*

Поступила в редакцію 20.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. комп'ютерної інженерії Д.А. Зайцев, Міжнародний гуманітарний університет, Одеса.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТУНЕЛИРОВАНИЯ ГОЛОСОВОЙ НАГРУЗКИ С АГРЕГАЦИЕЙ СЕССИЙ И КОМПРЕССИЕЙ ЗАГОЛОВКОЙ

*В.А. Каптур, Е.В. Добровольский, О.А. Янина*

В работе рассмотрена имитационная модель туннеля, построенного на базе предложенного авторами механизма минимизации служебной информации при туннелировании IP-нагрузки. При помощи разработанной модели проведено исследование зависимости ряда показателей эффективности предложенного метода от времени агрегации, максимального количества суб-фреймов и т.д. Проведенные исследования показали высокую эффективность разработанного авторами метода в условиях увеличения объемов нагрузки.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сжатие голосовой нагрузки, IP-телефония, протокольная избыточность.

## EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF VOICE DATA TUNNELING WITH SESSIONS AGGREGATION AND HEADERS COMPRETION

*V.A. Kaptur, E.V. Dobrovolskiy, O.A. Yanina*

The paper discusses an imitation model of the tunnel, built on the basis a mechanism to minimize the system information when tunneling IP-load proposed by the authors. With the help of developed-spontaneous models of study depending on a number of performance indicators of the proposed methods but from aggregation time, maximum number of sub-frames, etc. Studies have shown, whether the high efficiency of the method developed by the authors with increases in load

**Key words:** imitation modeling, voice compression, IP-telephony, protocol redundancy.

**Каптур Вадим Анатолійович** – канд.техн. наук, проректор з наукової роботи, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна, e-mail: vadim.kaptur@onat.edu.ua.

**Добровольський Євген Валерійович** – канд.техн. наук, доцент каф. теорії електричних кіл, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна, e-mail: reistlin@front.ru.

**Яніна Ольга Олександрівна** – аспірант, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна, e-mail: olga\_yani@mail.ru.