

# ТЕЛЕКОМУКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

УДК 621.396

М.М. Климаш, Т.А. Максимюк, М.Я. Шеремета, Р.З. Козловський,  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНО- ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ В МЕРЕЖАХ GSM

© Климаш М.М., Максимюк Т.А., Шеремета М.Я., Козловський Р.З., 2013

M.M. Klymash, T.A. Maksymyuk, M.Ya. Sheremeta, R.Z. Kozlovskiy,  
Lviv Polytechnic National University

## EFFICIENCY IMPROVING OF THE TIME-FREQUENCY RESOURCES UTILIZATION FOR GSM NETWORKS

© Klymash M.M., Maksymyuk T.A., Sheremeta M.Ya., Kozlovskiy R.Z., 2013

This article introduces the methods and techniques for improving of the spectral resources utilization effectiveness for GSM mobile network. We suggest the combined use of orthogonal multiplexing and dynamic frequency and channel allocation as an optimal solution for radio access network. Speech quality is an important measurement for the performance evaluation in a wireless mobile communication system since voice is still the most used service. The speech quality evaluation considered in this paper for GSM system employing narrowband and wideband AMR codecs with Orthogonal Sub Channel (OSC) technique. OSC feature proposes the way to double circuit switched capacity for GSM networks. It has introduced two new channel modes, namely Double Full-rate (DFR), and Double Half-rate (DHR), which have doubled capacity in comparison to legacy AMR channel modes. Many of the efforts in standardization are concentrated on studying hardware improvements lead by AMR DHR usage over AMR HR channel mode. Although AMR DFR has not brought hardware efficiency improvements over legacy channel modes, in this paper it is shown that speech quality is improved over AMR HR with the same blocking capacity. Therefore, it is a good solution for some interference-limited networks. Furthermore, we also investigate the speech quality of wideband AMR DFR codecs, which provides a substantial improvement when compared with narrowband AMR. As GSM uses the combination of frequency division multiple access and time division multiple access, the radio channel determines by the frequency slot and the timeslot. When a channel assignment needs to perform because of a newly initiated connection or handover, DFCA will evaluate all the possible channels and then choose the most suitable one in terms of CIR for the assignment. For this reason, an estimate of the CIR is determined for each available radio channel. The pairing of two users in the same radio channel is one of the most critical of all the aspects of radio resource management. The BSC can take advantage of the software-based pairing capability of DFCA to search for the best pair among several candidates. Although the BSC uses part of the DFCA algorithm for pairing, it is not necessary to synchronize BSS, as is usually the case when introducing DFCA. In standard mode, each GSM frequency channel can handle 8 or 16 users when using the FR- and HR-channel mode. Accordingly, the application of OSC to FR and HR calls, the 16 and 32 persons can occupy one frequency channel by double-FR (DFR) and double-HR (DHR), respectively. To maintain QoS parameters, there were introduced the restrictions for a range of using orthogonal subchannel. With use of OSC technique, we propose to distribute the subscribers to three service quality classes. Simulation results confirm the effectiveness of proposed methods, in terms of calls lost probability.

Key words: orthogonal multiplexing, space division, bit error rate, spectral resource, mobile network

Проаналізовано методи та технології підвищення ефективності використання спектральних ресурсів мережі мобільного зв'язку GSM. Запропоновано сумісне застосування ортогонального об'єднання каналів та динамічної перебудови частотно-часових ресурсів. Для збереження параметрів QoS введено обмеження за дальністю дії ортогонального об'єднання. У зоні дії OSC запропоновано розподіл абонентів лише на три класи за якістю надання сервісу. Результати моделювання підтверджують ефективність використання методів ущільнення зменшенням імовірності втрати викликів.

**Ключові слова:** ортогональне об'єднання, просторове розділення, коефіцієнт бітових помилок, спектральний ресурс, мобільна мережа.

### Вступ

Однією з проблем впровадження мереж четвертого покоління в існуючому пулі частот є недостатність радіочастотного ресурсу для забезпечення можливостей технології в повному обсязі та з високим рівнем якості для кінцевого абонента. Для функціонування мережі необхідною умовою є наявність широкої неперервної смуги частот.

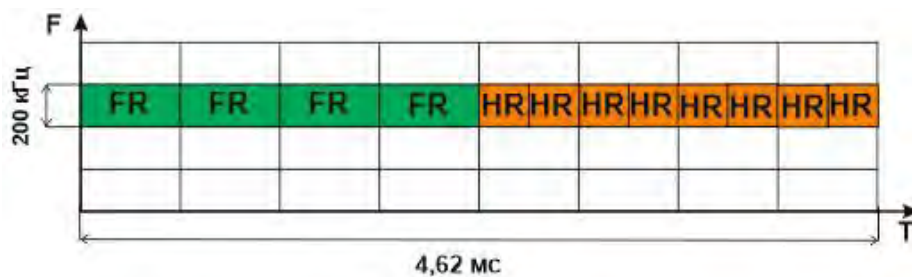


Рис. 1. HR і FR в GSM-мережах

У реальних умовах у оператора не завжди може бути вільна частотна смуга необхідної величини. Для виділення частотних ресурсів під мережі наступних поколінь необхідно в динамічному режимі проводити моніторинг вільних частотних каналів і здійснювати їх рефармінг так, щоб забезпечити максимально широкі вільні смуги частот [1].

На сучасному етапі з метою економії використовуваного спектра в мережах стандарту GSM використовуються кодеки HR (Half Rate) та FR (Full Rate) на базі методів кодування AMR (Adaptive Multi Rate) (рис. 1).

У загальному випадку один частотний канал шириною 200 кГц може одночасно обслуговувати вісьмох абонентів (FR), а використовуючи кодек HR, можливо обслуговувати шістнадцятьох.

### Методи ефективного використання частотно-часових каналів

Одним із методів підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу є застосування технології OSC (Orthogonal SubChannel) – ортогонального об'єднання каналів.

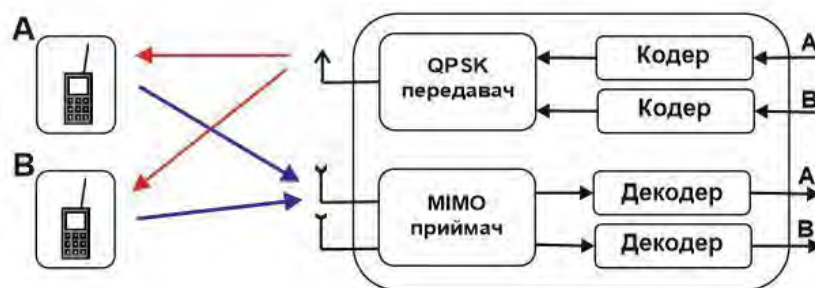


Рис. 2. Ортогональне об'єднання каналів

Алгоритм OSC здатен дублювати голосову сміність у каналах GSM, де два користувачі можуть використовувати один і той же фізичний радіоресурс одночасно. Для правильного розділен-

ня сигналів користувачів кожен користувач повинен використовувати різні тренувальні послідовності, які повинні бути взаємно корельовані для досягнення максимальної продуктивності OSC.

При OSC у напрямку від абонента UL (канал “вверх”) на базовій станції застосовується MIMO розділення сигналів від абонентів на основі просторового розділення каналів (SDMA – Space Division Multiple Access). Суть просторового розділення полягає в тому, що різні передавальні антени передаватимуть різні частини блока інформаційних символів або різні інформаційні блоки. Передають дані паралельно з двох або з чотирьох антен. На приймальній стороні здійснюється приймають і розподіляють сигнали різних антен, і стає можливим збільшення максимальної швидкості передавання даних в 2 або в 4 рази.

У такому разі при використанні технології OSC достатньо оснащувати базові станції двома приймальними MIMO антенами (дві передавальні антени – дві мобільні станції), що збільшить пропускну спроможність мережі у два рази, тобто обслуговувати двох абонентів у одному частотно-часовому каналі.

У напрямку від абонента до базової станції DL (канал “вниз”) базова станція посилає двом користувачам OSC єдиний QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) модульований сигнал, який може бути підмножиною 8-PSK сузір’я, де найстарший біт містить інформацію для користувача підканалу 0, а молодший біт містить сигнал для користувача підканалу 1. Завдяки технології EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), яка при передаванні даних використовує фазову багатопозиційну модуляцію (8-позиційну) 8-PSK (Phase Shift Keying), алгоритм OSC “зашиває” QPSK у 8-PSK, передаючи лише чотири точки сузір’я [2].

Мобільний термінал здатен декодувати цей сумарний сигнал як звичайний GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) сигнал. Однак через багатопроменеве поширення, ортогональні властивості між сигналами обох абонентів зменшуються на міжсимвольній інтерференції між двома сигналами. Одним із прикладів для подавлення міжканальної інтерференції на приймальній стороні є алгоритм SAIC (Single Antenna Interference Cancellation). Саме він використовується у мобільних пристроях з 2003 р. завдяки своїм економічним та якісним показникам.

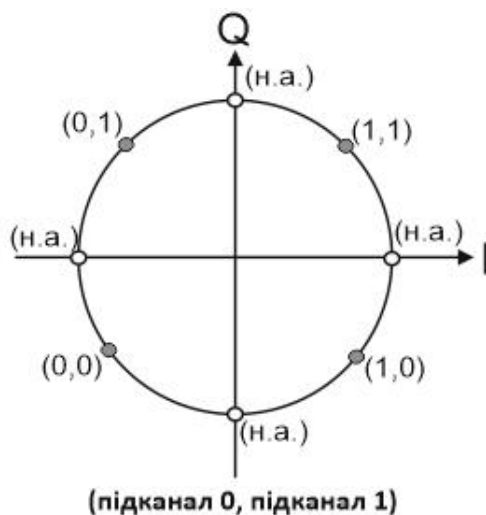


Рис. 3. Підмножина сузір’я 8-PSK у каналі “вниз”

Найістотнішим недоліком методу ортогонального об’єднання каналів є обмеженість зони дії цієї технології.

Для застосування методу ортогонального об’єднання каналів вводиться умовне обмеження, а саме рекомендовано її застосовувати у ближній та середній зонах дії базової станції (вище від рівня -93 дБп) [3]. Це обмеження вжито для збереження параметрів якості передавання голосу для кінцевого абонента.

Визначимо ефективну відстань для дії OSC у густонаселеному пункті. Для цього використаємо модель Окамура-Хата, яка дає змогу визначити втрати при поширенні радіохвиль залежно від

відстані при заданій частоті несучої, густоті населеності території, висоті базової станції (ефективне значення для GSM системи вважаємо 30 м) та висоті мобільної станції (ефективне значення для GSM системи вважаємо 1.5 м). Візьмемо модель для урбанізованих (густонаселених) територій.

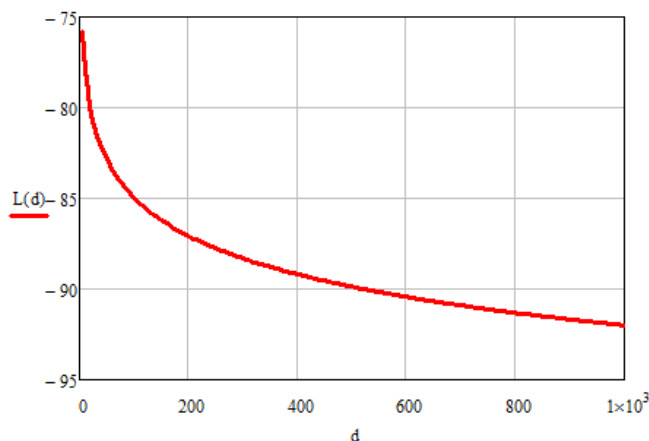


Рис. 4. Модель Окамура-Хата для OSC

Оскільки модель Окамура-Хата зображує залежність втрат, що зазнає сигнал під час поширення, то внесемо додатковий доданок, який характеризує рівень потужності передавача базової станції та віднімемо втрати (рис. 4). Бачимо, що ефективне використання технології OSC є у межах від 400 до 500 метрів від розміщення базової станції. Проте, з іншого боку, обмеження з дальності роботи технології ортогонального об'єднання каналів істотно не вплине на ущільнення частотно-часового ресурсу на території за містом, де відстані між базовими станціями можуть сягати декількох кілометрів.

Використовуючи кодеки FR і HR на базі алгоритму кодування AMR та технологію ортогонального ущільнення каналів абонентів мережі, умовно можна розділити на чотири класи за якістю обслуговування (рис. 5).

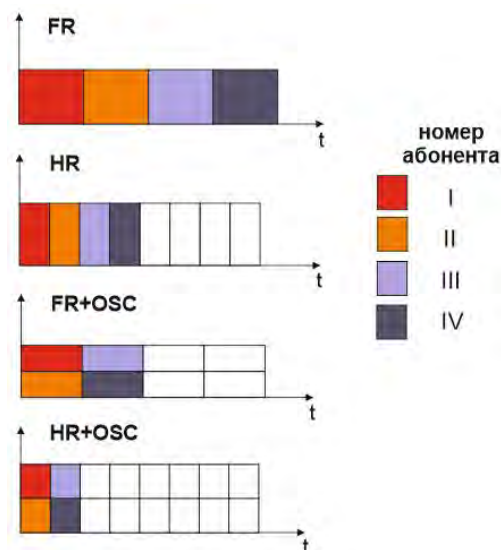


Рис. 5. Займання ресурсів абонентами різних класів

Для кількісної оцінки стиснення спектра стільникової мережі введемо такі коефіцієнти:

- $fr$  – показує частку абонентів FR;
- $dfr$  – показує частку абонентів FR+OSC (DFR);
- $hr$  – показує частку абонентів HR;
- $dhr$  – показує частку абонентів HR+OSC (DHR).

Введемо також поняття коефіцієнта ущільнення

$$A = fr + 1/2 dfr + 1/2 hr + 1/4 dhr \quad (1)$$

Виконавши елементарні арифметичні операції, отримаємо

$$A = fr + 1/2(dfr + hr) + 1/4 dhr \quad (2)$$

Коефіцієнт ущільнення показує яку частку спектральних ресурсів можна вивільнити. Тоді у зоні дії OSC будуть наявні лише абоненти трьох класів, а саме: FR, DFR, DHR.

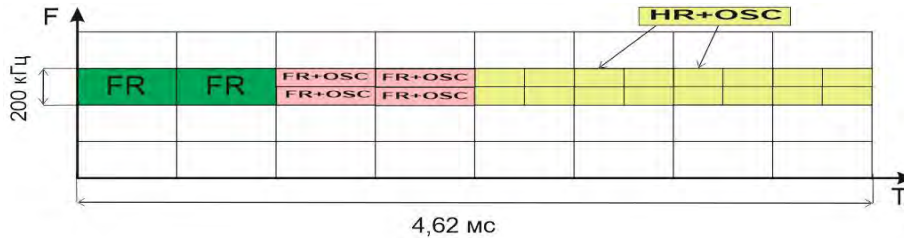


Рис. 6. Класи абонентів у ближній та середній зонах

Ще одним методом підвищення ефективності використання спектральних ресурсів технології GSM є DFCA (Dynamic Frequency and Channel Allocation) [4]. Цей метод базується на зборі статистичних даних про стан мережі та вибір частотно-часового каналу реалізується на основі найкращого відношення сигнал / шум.

У контролері базових станцій формується матриця перешкод для всіх вільних часових каналів, всіх заданих наборів частот (МА - Mobile Allocation) і стрибків по частоті (МАІО - Mobile Allocation Index Offset). При встановленні нового виклику або хендоверу аналізується клас абонентської станції та потрібне для неї відношення сигнал/шум, потім вибираються ресурси (часовий канал, набір частот, зсув стрибків по частоті), що забезпечують необхідне значення сигнал/шум.

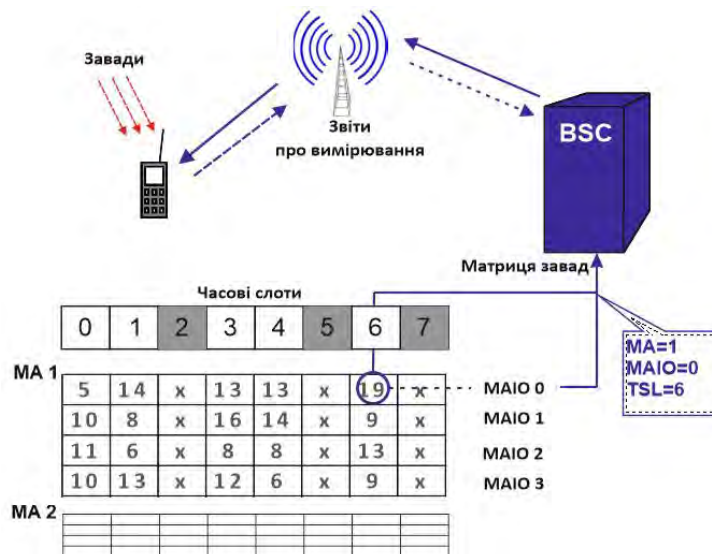


Рис. 7. Динамічний вибір частотно-часового каналу

Цей метод є дієвим у разі боротьби з міжканальними завадами та вирішення проблем синхронізації, а також його використання разом із технологією OSC дозволяє вибрати найкращих абонентів для обслуговування в режимі дублювання при ортогональному об'єднанні двох сигналів від абонентів.

Результати використання DFCA відображені на рис. 8. Показано залежність відсотка невдалих спроб встановлення з'єднання від завантаженості частотно-часового ресурсу (EFL - Effective Frequency Loaded) [5]. Як бачимо, що при використанні алгоритму DFCA показники роботи мережі є істотно кращими, аніж без нього.

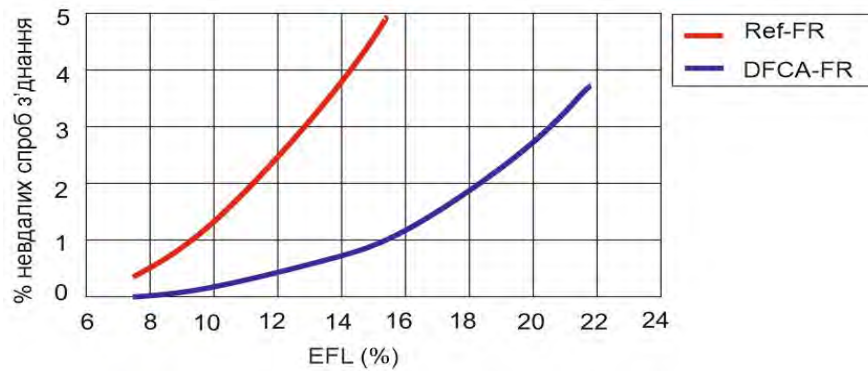


Рис. 8. Ефективність алгоритму DFCA

Завдяки використанню цього методу можна збільшувати кількість абонентів, яким надається сервіс у режимі дублювання (під час використання технології OSC).

### Моделювання процесу обслуговування абонентів

Робота моделі розділюється на два етапи:

- 1) статичного моделювання, при якому немає поділу на категорії абонентів. У цьому етапі при надходженні заявки на обслуговування здійснюється перевірка наявності вільного частотно-часового каналу та за його відсутності абонент заноситься в чергу на відбій;
- 2) динамічного моделювання, при якому використовуються технології ортогонального об'єднання каналів та динамічної перебудови частотно-часових каналів. Зрозуміло, що в цьому етапі збільшується ємність мережі та зменшуються імовірність втрати викликів.

Розглянемо результати роботи, запропонованої та описаної вище. Ця модель враховує обмеження зони дії технології ортогонального об'єднання каналів та відповідно абоненти, які перебувають поза цією зоною, не можуть отримати послуги в режимі дублювання.

На рис. 9 відображені результати роботи програми обслуговування вхідного навантаження від абонентів GSM мережі. Вхідними параметрами були:

- ширина спектра (3.4 МГц);
- інтенсивність надходження викликів у систему (80 викл/хв);
- середня тривалість виклику (за статистичними даними ця величина дорівнює 81 с);
- тривалість моделювання (24 год).

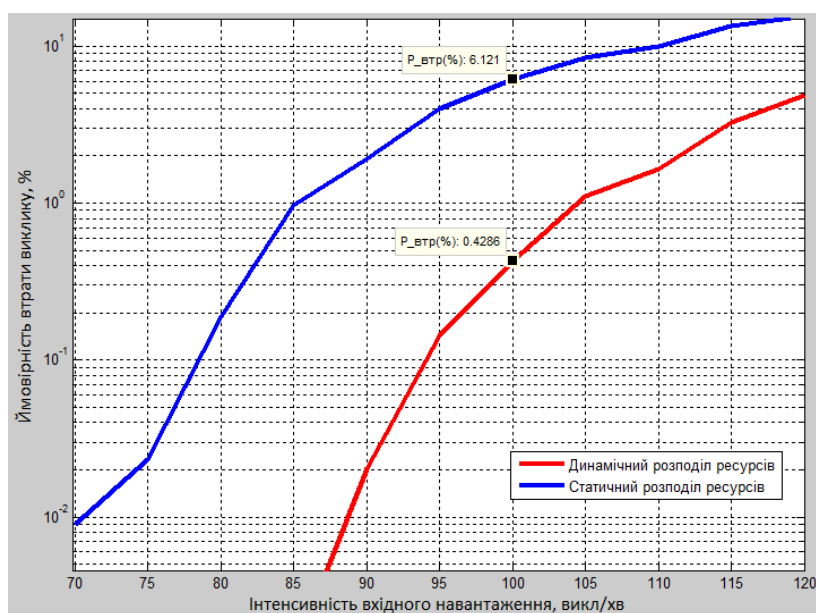


Рис. 9. Залежність імовірності втрат від інтенсивності викликів

На графіку відображені результати моделювання імовірності втрат викликів від інтенсивності вхідного навантаження. Синя крива відображає імовірність втрат для динамічної роботи системи обслуговування викликів, а червона крива – статичної роботи.

У разі інтенсивності навантаження 100 викликів на хвилину отримуємо значний вииграш в якості обслуговування - в 14 разів. Цей вииграш можна використати для покращення якості обслуговування абонентів, тобто збільшити кількість FR-абонентів (найвищого класу якості обслуговування), і втрати не будуть змінні при введенні динамічної системи обслуговування, а якість покращиться. Або ж можна звільнити спектральний ресурс для впровадження та розвитку мобільних мереж наступних поколінь.

### **Висновки**

Використовуючи алгоритми ортогонального ущільнення та динамічної перебудови каналів, досягаємо ефективнішого використання радіочастотного ресурсу GSM-мережі та, завдяки їх одночасній роботі, забезпечуємо високий рівень якості обслуговування за умови обмеженого доступу до частотно-часового ресурсу. Поділ абонентів на класи за якістю обслуговування дає змогу залишити надання сервісу в належних межах.

Введення коефіцієнта ущільнення дозволяє в числовому вигляді оцінити зайнятість GSM-каналів і, як наслідок, – можливе надання вільної частини спектра для обслуговування абонентів мережі іншого покоління, яка працюватиме у спільному діапазоні частот.

Під час моделювання за інтенсивності навантаження 100 викл./хв. отримуємо значний вииграш в імовірності втрат викликів – в 14 разів (на 5.5 %). Цей вииграш можна використати для поліпшення якості обслуговування абонентів, тобто збільшити кількість FR-абонентів найвищого класу якості, і втрати не зміняться при введенні динамічної системи обслуговування, а якість покращиться; або ж можна звільнити спектральний ресурс для впровадження та розвитку мобільних мереж наступних поколінь.

1. Jo M., Maksymyuk T., Kyryk M. and Han L., “Cognitive Radio Approach for LTE Deployment”. In Proc. IEEE International Conference on The IXth International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH 2013), p. 63–64, Apr. 2013. 2. Jyrki T.J. Penttinen, Francesco D. Calabrese, David Valerdi, Inigo Guemes. Performance Model for Orthogonal Sub Channel in Noise-limited Environment. IEEE – 2011. – 15 p. 3. Paiva R. C., Vieira, R. D., Iida, R., Tavares, F. M., Saily, M. Improving the Speech Quality with OSC: Double Full-rate Performance Assessment. IEEE – 2010. – 5 p. 4. Nokia Siemens Networks. Technology brief. Doubling GSM voice capacity with the Orthogonal Sub Channel. – 2009. – 12 p. 5. Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero. Gsm, GPRS and EDGE performance (second edition). – 2003. – 656 p.