

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.396:621.396.933:629.783:621.396.946

<sup>1</sup>В.П. Харченко, д.т.н., проф.  
<sup>2</sup>Ю.М. Барабанов, к.т.н., доц.  
<sup>3</sup>А.М. Грехов, д.ф.-м.н., проф.  
<sup>4</sup>М.С. Іваненко, студ.  
Р.І. Лобанов, студ.

**МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ NETCRACKER PROFESSIONAL 4.1  
ПЕРЕДАЧІ ADS-B ПОВІДОМЛЕНЬ  
ЧЕРЕЗ СУПУТНИКОВИЙ КАНАЛ КОМУНІКАЦІЇ IRIDIUM**

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: kharch@nau.edu.ua<sup>2</sup>E-mail: brbnv@i.ua<sup>3</sup>E-mail: grekhovam@ukr.net<sup>4</sup>E-mail: marinka1709@ukr.net

*Для моделювання передачі ADS-B повідомлень за допомогою низькоорбітального супутникового комплексу Iridium в середовищі NetCracker Professional 4.1 побудовано модель каналу зв'язку «літак – супутник – наземна станція», яка дозволяє аналізувати залежності коефіцієнта двійкових помилок від середнього робочого навантаження, часу проходження повідомлення і швидкості передачі даних. Вивчено вплив на трафік типу протоколу передачі, розміру транзакції, часу між транзакціями та часу затримки каналу. Досліджено ефект «насичення» каналу зв'язку, який досягається при одночасній передачі даних через супутниковий канал зв'язку з багатьох літаків.*

**Ключові слова:** коефіцієнт двійкових помилок (BER), модель каналу зв'язку «літак – супутник – наземна станція», розмір транзакції, супутниковий канал зв'язку, тип протоколу передачі, трафік, час затримки каналу, час між транзакціями, швидкість передачі інформації, NetCracker Professional 4.1.

**Постановка проблеми**

Процес розвитку авіації приводить до збільшення кількості польотів через Північний Полюс і регіони з недостатнім радарним покриттям, що пов'язано з їх економічною ефективністю.

Унаслідок конверсії від наземних систем зв'язку, навігації та спостереження, які недоступні в будь-якій точці Земної кулі і дорогі в обслуговуванні, до систем, що базуються на супутникових системах, актуальним є:

- дослідження трафіку в авіаційних супутникових каналах зв'язку;
- розробка моделей реальних каналів зв'язку;
- дослідження способів виправлення критичних ситуацій.

**Аналіз досліджень і публікацій**

В авіаційному електрозв'язку широко використовуються супутникові системи ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) [1-6].

ADS-B система [1] являє собою обладнання, за допомогою якого літаки можуть автоматично передавати або приймати через канал зв'язку такі дані:

- код ідентифікації;
  - 3D положення та вектор швидкості;
  - висоту;
  - додаткову інформацію в ширококомовному режимі.
- ADS-B приймач літака приймає з наземних станцій:
- дані від сусідніх ADS-B передавачів;
  - дані щодо трафіку
  - погоду.

Літак, обладнаний ADS-B системою, визначає своє власне положення та періодично передає інформацію про своє положення разом з додатковою інформацією на наземну станцію та інші літаки, обладнані ADS-B системами.

Положення і вектор швидкості беруться з Глобальної системи позиціонування (Global Positioning System – GPS) або Системи керування польотом (Flight Management System – FMS).

Особливий інтерес викликає дослідження передачі ADS-B повідомлень за допомогою сузір'я супутників Iridium, що складається із 66 супутників на висоті 780 км і які покривають 100 % Земної поверхні.

Невелика висота супутників значно зменшує час затримки при передачі повідомлень, а супутники мають високу доступність.

Система зв'язку Iridium [2] включає абонентське обладнання, супутникову та наземну мережі і дозволяє передавати дані та голосові повідомлення.

Інформація ретранслюється від одного супутника до іншого, поки не досягне супутника над бортовою станцією і далі передається назад на Землю.

**Мета** роботи – побудова моделі каналу зв'язку «літак – супутник – наземна станція» з параметрами системи Iridium на основі програмного комплексу NetCracker Professional 4.1 [7], яка дозволяє дослідити

залежності коефіцієнта двійкових помилок (Bit Error Rate – BER) від середнього робочого навантаження, часу проходження повідомлення і швидкості передачі даних.

### Структура моделі каналу зв'язку

Для моделювання передачі ADS-B повідомлень через канал комунікації супутників Iridium використовувалася комп'ютерна програма NetCracker Professional 4.1 [7].

Модель каналу комунікації (рис.1) складається з бортової станції, яка є ADS-B системою літака, супутника Iridium і наземного центра керування повітряним рухом.

Як параметри моделі вибиралися реальні параметри системи супутників Iridium і ADS-B систем.

Спосіб завдання трафіку в пакеті NetCracker сумісний з визначенням вхідного потоку заявок у теорії масового обслуговування [8] полягає в завданні розміру блока даних (транзакції) (Transaction Size) і часу між надходженнями даних (Time Between Transactions). Оскільки потоки даних мають стохастичну природу, то для розміру даних і часу надходження повідомлення задаються закони розподілу.

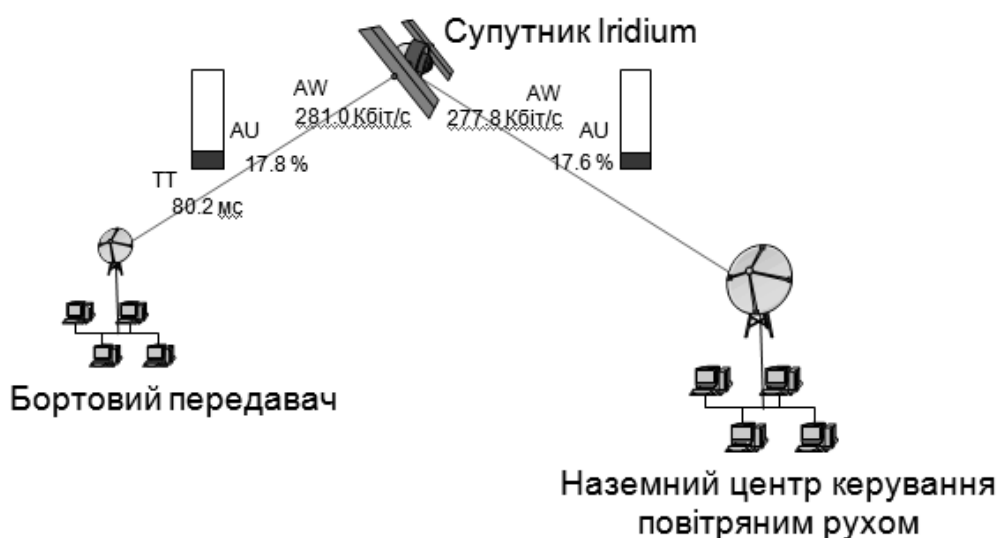


Рис. 1. Передача ADS-B повідомлення через канал комунікації за допомогою супутників Iridium

Для аналізу моделі було обрано такі параметри:

- середнє робоче навантаження (Average Workload – AW) каналу зв'язку;
- середній час його завантаження (Average Utilization – AU);
- час проходження повідомлення (Travel Time – TT) між бортовою станцією та наземною станцією АТС.

Аналіз отриманих даних показує, що підключення кожного додаткового літака приводить до збільшення середнього робочого навантаження (рис. 2, а) і середнього часу використання (рис. 2, б) каналу зв'язку.

Завантаження каналу на 100 % («насичення» каналу зв'язку) досягається при одночасній передачі даних через супутниковий канал зв'язку з 13 літаків.

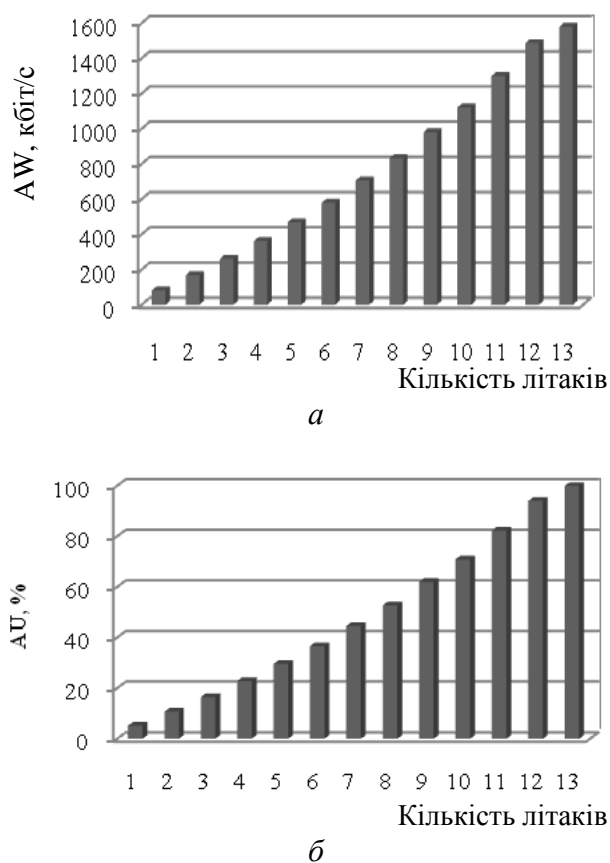


Рис. 2. Залежність середнього робочого навантаження (а) та середнього часу використання каналу зв'язку (б) від кількості літаків

Це означає, що канал комунікації, побудований з такими параметрами, може обслужити не більше 13 літаків одночасно (рис. 3).

Для керування повітряним рухом цього недостатньо.

### Результати моделювання

Для вирішення проблеми збільшення пропускної здатності супутникового каналу зв'язку важливо з'ясувати, на що впливають і від чого залежать середнє робоче навантаження, середній час використання та час проходження повідомлення.

З цією метою досліджено спрощену модель з одною бортовою ADS-B системою, за допомогою якої вивчалися середній час використання каналу і час проходження повідомлення та вплив на середнє робоче навантаження:

- розміру транзакції (Transaction Size);
- часу між транзакціями (Time Between Transactions);
- часу затримки каналу (Link Latency);
- полоси пропускання каналу (Link Bandwidth).

Проведено також обчислення впливу параметрів трафіку на коефіцієнт передачі (BER) та на збій при передачі пакета (Packet Fail Chance).

Розмір транзакції (довжина повідомлення) бортової ADS-B системи, переданої по каналу «борт літака – супутник Iridium – центр АТС», впливає на досліджувані параметри.

Середнє робоче навантаження та середній час використання каналу зростають майже лінійно зі збільшенням розміру транзакції (рис. 4, а, б) до 90 кбайт.

Час затримки каналу лінійно зростає при збільшенні розміру транзакції до 1000 байт, а потім спостерігається ефект «насичення» (рис. 4, в).

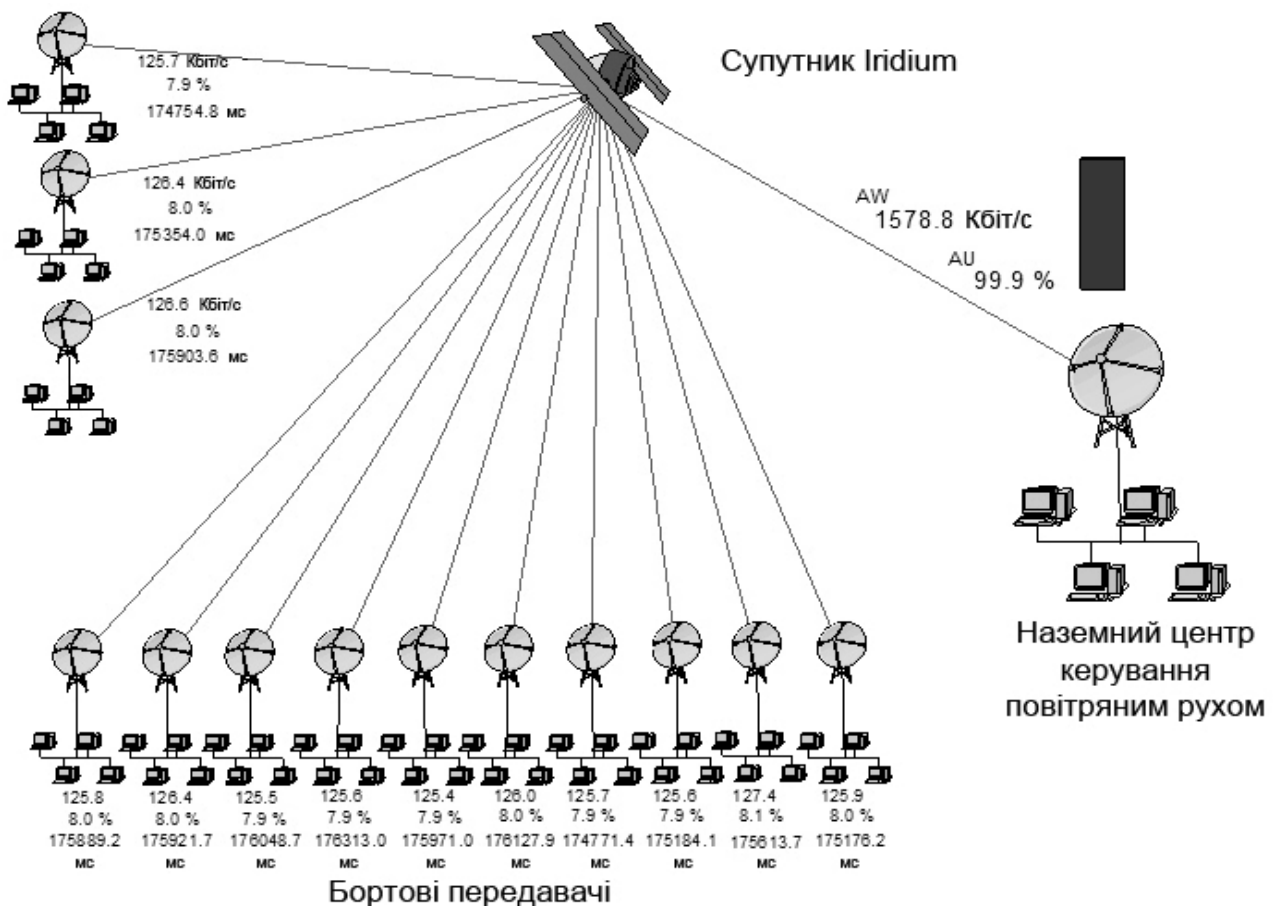


Рис. 3. «Насичення» супутникового каналу зв'язку

Залежність часу проходження сигналу від часу затримки каналу «борт – супутник Iridium» показано на рис. 5.

Середнє робоче навантаження та середнє завантаження каналу не залежать від часу затримки каналу.

Аналіз залежності коефіцієнта BER від середнього робочого навантаження та часу середнього використання показує, що характер зміни досліджуваних параметрів не залежить від типу протоколу (рис. 6).

Імовірність збою при передачі пакета характеризує надійність супутникового зв'язку, саме тому середнє робоче навантаження каналу зв'язку має підтримуватися на відповідному рівні для зменшення кількості відмов (рис. 7).

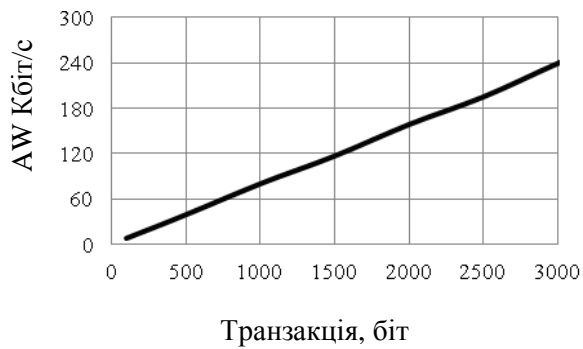
## Висновки

1. Побудовано модель для аналізу трафіку в каналі зв'язку «літак – супутник – наземна станція», яка використана для моделювання передачі ADS-B повідомлень за допомогою низькоорбітального супутникового комплексу Iridium.

2. Отримано залежності коефіцієнта BER від середнього робочого навантаження та середнього часу використання каналу.

3. Отримано залежності ймовірностей збою при передачі пакета від середнього робочого навантаження, середнього часу використання каналу і часу проходження сигналу.

4. Розроблена модель застосована для визначення характеристик трафіку в каналі зв'язку «літак – супутник – наземна станція».



а

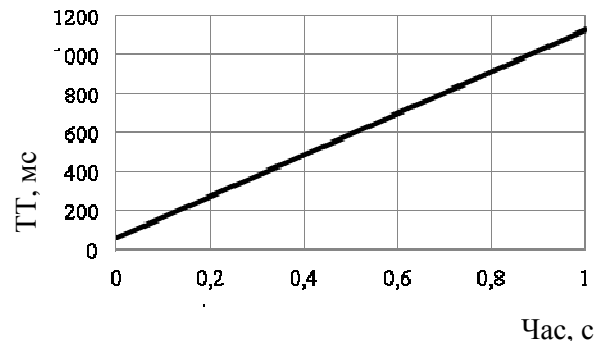
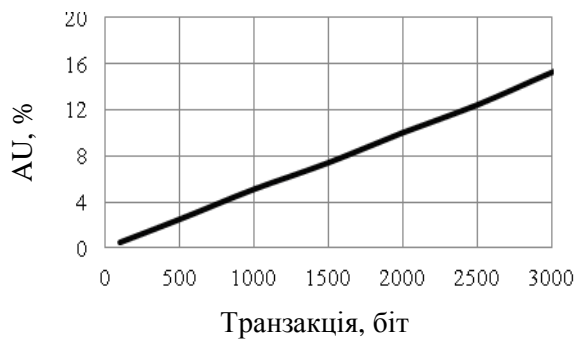
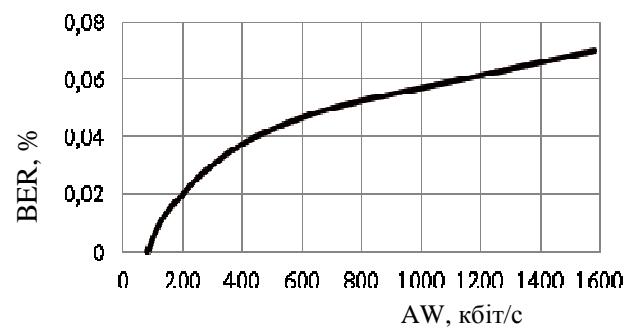


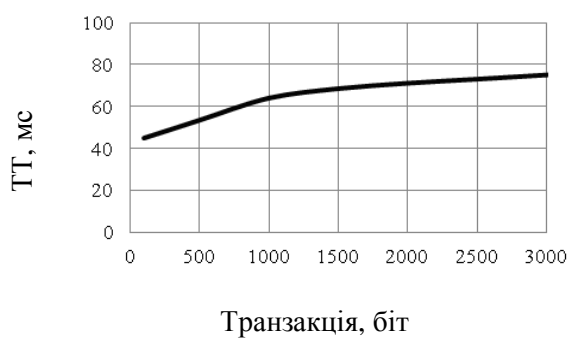
Рис. 5. Залежність часу проходження повідомлення від часу затримки каналу



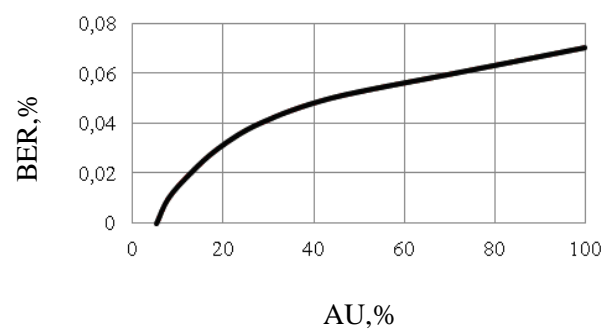
б



а



Транзакція, біт



б

Рис. 4. Залежність робочого навантаження (а), середнього часу завантаження (б), часу проходження (в) від розміру транзакції

Рис. 6. Залежність коефіцієнта BER від середнього робочого навантаження (а) та часу середнього використання (б)

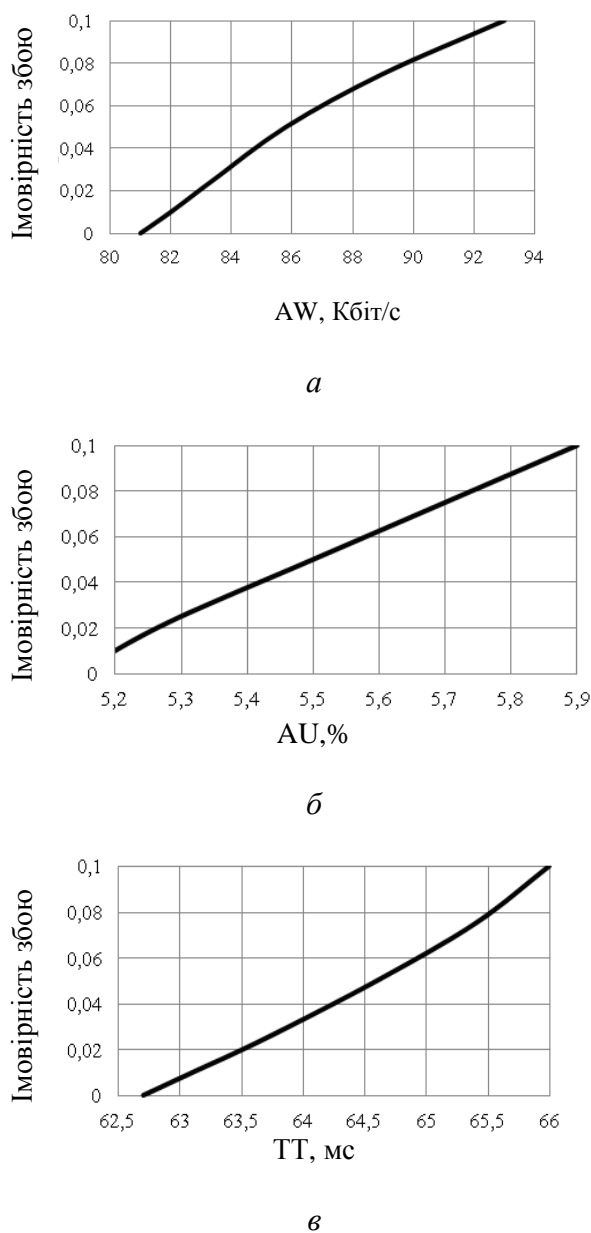


Рис. 7. Залежність імовірності збою від:  
 а – середнього навантаження;  
 б – часу середнього завантаження  
 в – часу проходження повідомлення

Побудовано графіки залежності середнього робочого навантаження, середнього часу використання каналу, часу проходження повідомлення від розміру транзакції та часу проходження повідомлення від часу затримки каналу.

5. Розрахунки для моделі показали, що завантаження каналу на 100 % («насичення» каналу зв'язку) досягається при одночасній передачі даних через супутниковий канал зв'язку з 13 літаків. Такий результат є оціночним і правдивим лише для обраного програмного середовища, побудованої моделі та обраних параметрів. Властивості «обслуговуючого прилада» [8] в пакеті NetCracker визначаються не дуже детально – у вигляді фіксованої затримки обслуговування і абсолютної границі швидкості надходження заявок. Проведена оцінка може бути корисною для подальших досліджень.

6. Модель можна застосовувати як базову для вивчення трафіку між літаками та літаком і наземними службами з використанням декількох супутників.

### Література

1. Wikipedia. ADS-B.
2. Manual For ICAO Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service Part 2-Iridium Draft V4.0, 2007. – 77 p.
3. Дятлов А.П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: учеб. пособие. Ч.1 / А.П. Дятлов. – Таганрог: ТРТУ, 1997. – 95 с.
4. Бобровский Д.Г. Низкоорбитальные спутниковые системы связи / Д.Г. Бобровский. – Сети. – 1992. – № 4. – С. 73–79.
5. Смирнов Н.И. Достоинства низкоорбитальных спутниковых систем передачи информации с синхронным кодовым разделением каналов типа «Глобалстар» / Н.И. Смирнов, Н.А. Иванчук, С.Ф. Горгадзе. – Электросвязь. – 1997. – № 2. – С. 21–28.
6. Коньков А.М. Перспективы развития низкоорбитальных систем спутниковой связи / А.М. Коньков // Вестник связи. – 1994. – № 1. – С. 34–38.
7. Гаршина В.В. Проектирование компьютерных сетей в NetCracker / В.В. Гаршина, А.С. Коваль. – Воронеж, 2007. – 38 с.
8. Лившиц Б.С. Теория телетрафика / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М.: Связь, 1979. – 224 с.