

## Анализ эффективностей многокольцевых схем синхронизации с равным количеством сетевых элементов в цепях синхронизации на всех уровнях иерархии транспортной сети

**The effectiveness analysis of multiring synchronization schemes with an equal amount of network elements in synchronization circuits at all levels of the transport network hierarchy**

**Ключевые слова:** сигнал синхронизации – clock signal; структура системы тактовой сетевой синхронизации – the clocking system structure of the telecommunications network.

В работе приводится сравнительный анализ эффективностей многокольцевых схем синхронизации с равным количеством сетевых элементов в цепях синхронизации на всех уровнях иерархии транспортной сети, результаты которого позволяют выбирать наиболее подходящие типовые схемы передачи сигналов синхронизации при формировании структур систем тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационных сетей.

The paper contains the comparative analysis of the multiring synchronization schemes with an equal amount of network elements in synchronization circuits at all levels of the transport network hierarchy, which results allow to choose the most suitable synchronization scheme of clock signaling in the formation of clock network synchronization structures of telecommunications networks.

Количество сетевых элементов (СЭ) в цепях синхронизации (ЦС) системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) на всех структурных уровнях её иерархии  $r$  для транспортной сети (ТС) телекоммуникационной системы может быть равным, если количество синхронизируемых элементов в полукольцах (ПК) второго и более низких уровнях иерархии будет на единицу меньше по сравнению с кольцом первого уровня [1, 2]. Максимальное

**АЛЕКСЕЕВА / ALEKSEEVA M.**

**Марина Николаевна**

(marina\_a@loniis.org)  
Филиал ФГУП «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи» (ЛО ЦНИИС),  
ведущий инженер.  
г. Санкт-Петербург

**МОРОЗОВ / MOROZOV G.**

**Геннадий Григорьевич**

(morozov@loniis.org)  
ЛО ЦНИИС, заместитель начальника центра.  
г. Санкт-Петербург

**ОСАДЧИЙ / OSADCHIJ S.**

**Сергей Александрович**

(spb.sos@hotmail.com)  
ЛО ЦНИИС, ведущий инженер.  
г. Санкт-Петербург

**ПЕТРИЧЕНКО / PETRICHENKO A.**

**Анатолий Константинович**

(synchro@loniis.org)  
ЛО ЦНИИС, начальник центра.  
г. Санкт-Петербург

**ЯСИСКИЙ / JASINSKI S.**

**Сергей Александрович**

(yasinsky777@mail.ru)  
доктор технических наук, доцент.  
ЛО ЦНИИС, главный научный сотрудник.  
г. Санкт-Петербург

количество СЭ в  $i$ -й ЦС для кольца  $I$  уровня, то есть базового кольца (БК), с числом  $n_i$  СЭ и в каждом полукольце более низких уровней иерархии определяется выражением:

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ЦС}_i}} = \lceil 0,5n_l \rceil_{\text{ЦС}_i}$$

На любом иерархическом уровне системы ТСС общее количество СЭ в ЦС от источника сигналов синхронизации (СС) до любого СЭ с учётом появления любой одиночной аварии не превышает

$$N_{\text{СЭ}_{\text{ТСС}} \text{ЦС}_i} = 1 + N_{\text{СЭ}_{\text{ЦС}_i}} (r + 1). \quad (1)$$

Пример построения многокольцевой схемы синхронизации с тремя иерархическими уровнями и с кольцом первого уровня, содержащим 5 сетевых элементов, приведён на рис. 1. Сетевой элемент СЭ 1<sub>1</sub>, к которому подключён основной источник сигналов синхронизации (ОИ), после-

довательно синхронизирует элементы 2<sub>1</sub> и 3<sub>1</sub> в одном направлении и элементы 5<sub>1</sub> и 4<sub>1</sub> в другом направлении. На втором уровне иерархии от элемента 3<sub>1</sub> синхронизируются элементы 1<sub>2</sub> и 2<sub>2</sub>, а от элемента 4<sub>1</sub> последовательно синхронизируются элементы 4<sub>2</sub> и 3<sub>2</sub>. Этот принцип распространяется на все иерархические уровни. На элемент 3<sub>1</sub> заведён СС от резервного источника сигналов синхронизации (РИ).

Количество иерархических уровней синхронизации  $r$  с учётом появления одиночной аварии может быть определено следующим образом:

$$r = \left\lfloor \frac{N_{\text{СЭ}_{\text{БКПНК}} \text{ЦС}} - 1}{\lceil 0,5n_l \rceil} - 1 \right\rfloor, \quad (2)$$

где  $N_{\text{СЭ}_{\text{БКПНК}} \text{ЦС}}$  – максимально допустимое коли-

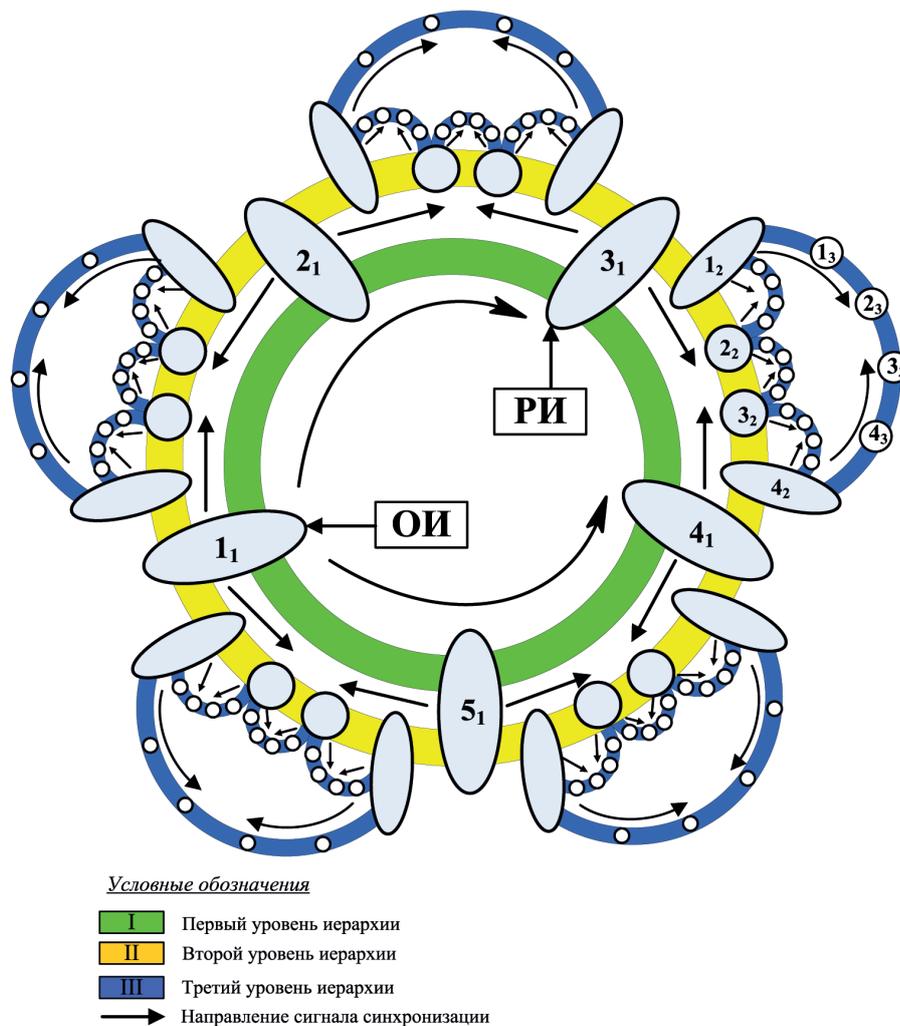


Рис. 1. Структура цепей синхронизации с тремя иерархическими уровнями и с кольцом первого уровня, содержащим 5 сетевых элементов

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ

чество СЭ в цепях синхронизации, проходящих через БК и ПК.

Количество синхронизируемых СЭ на всех уровнях иерархии СТСС для ТС определяется выражением:

$$N_{\text{СЭТС}} = n_I \sum_{i=0}^{r-1} (n_I - 1)^i = n_I \frac{(n_I - 1)^r - 1}{n_I - 2}. \quad (3)$$

Сравнительная оценка вариантов формирования  $i$ -х ЦС, где  $i = 1, \dots, I$ , производилась по критерию эффективности, количественно выражаемого в виде коэффициента эффективности

$$k_{\text{эф.ЦС}_i} = \frac{N_{\text{СЭЦС}_i}}{N_{\text{СЭ-1ав.ЦС}_i}} \quad (4)$$

где:  $N_{\text{СЭЦС}_i}$  – количество синхронизируемых СЭ в  $i$ -й ЦС без аварий;  $N_{\text{СЭ-1ав.ЦС}_i}$  – количество синхронизируемых СЭ в  $i$ -й ЦС с учётом появления одиночной аварии (1 ав.).

Результаты расчётов с использованием выражений (1), (2), (3) и (4) приведены в табл. 1 с графическим представлением на рис. 2–6.

На рис. 2 и рис. 3 приведены графические зависимости максимального количества СЭ в цепях синхронизации от числа СЭ в ТС (ёмкости сети), которое в пределе составляет 14000 и 700, соответственно. Эти графики могут быть использованы в процессе оперативного планирования развёртывания или проектирования ТС для определения максимального количества СЭ в ЦС при заданной ёмкости сети или для определения максимального количества синхронизируемых СЭ при заданном количестве СЭ в ЦС.

На рис. 4, рис. 5 и рис. 6 приведены графические зависимости коэффициентов эффективности от разных чисел синхронизируемых СЭ, а также от различных значений  $n_I$ .

В результате анализа приведённых выше графических зависимостей на рис. 2–6 сделаны следующие выводы:

Таблица 1.

**Результаты расчётов с использованием выражений (1), (2), (3) и (4)**

$n_I$	$r$	$N_{\text{СЭТС}}$	$N_{\text{СЭТСЦС}_i}$	$k_{\text{эф.ЦС}_i}$
4	2	16	7	2,29
4	3	52	9	5,78
4	4	160	11	14,55
4	5	484	13	37,23
4	6	1456	15	97,07
4	7	4372	17	257,18
4	8	13120	19	690,53
5	2	25	7	3,57
5	3	105	9	11,67
5	4	425	11	38,64
5	5	1705	13	131,15
5	6	6825	15	455
5	7	27305	17	1606,176
5	8	109225	19	5748,68

6	2	36	10	3,6
6	3	186	13	14,3
6	4	936	16	58,5
6	5	4686	19	246,63
7	2	49	10	4,9
7	3	301	13	23,15
7	4	1 813	16	113,31
7	5	10885	19	1209,44
8	2	64	13	4,92
8	3	456	17	26,82
9	2	81	13	6,23
9	3	657	17	38,65
10	2	100	16	6,25
11	2	110	16	6,87
12	2	144	19	7,58
13	2	169	19	8,89

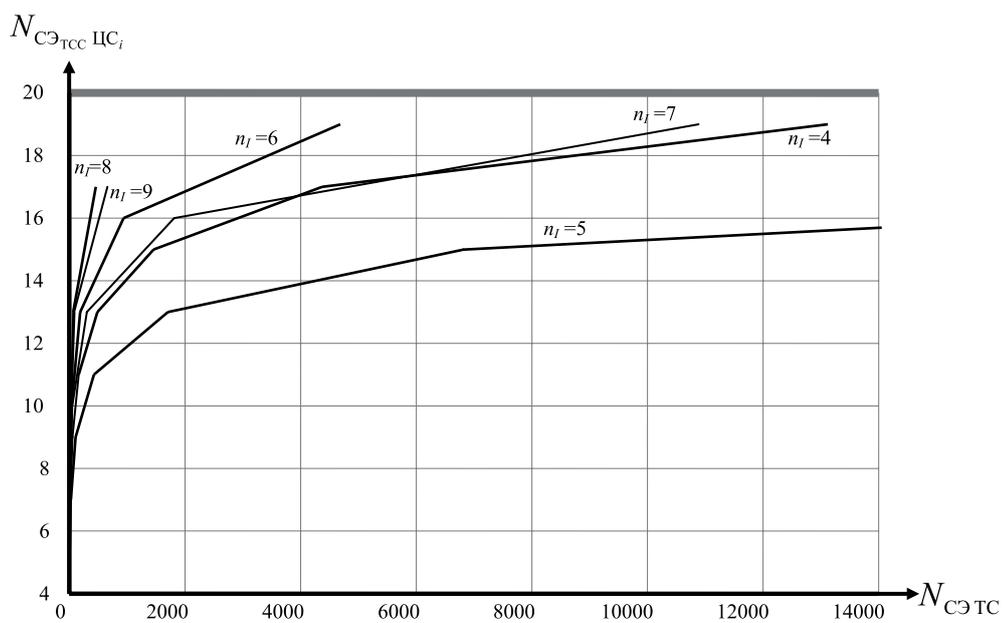


Рис. 2. Зависимость количество СЭ в ЦС от ёмкости ТС (до 14000 СЭ), при  $n_i=4, \dots, 9$

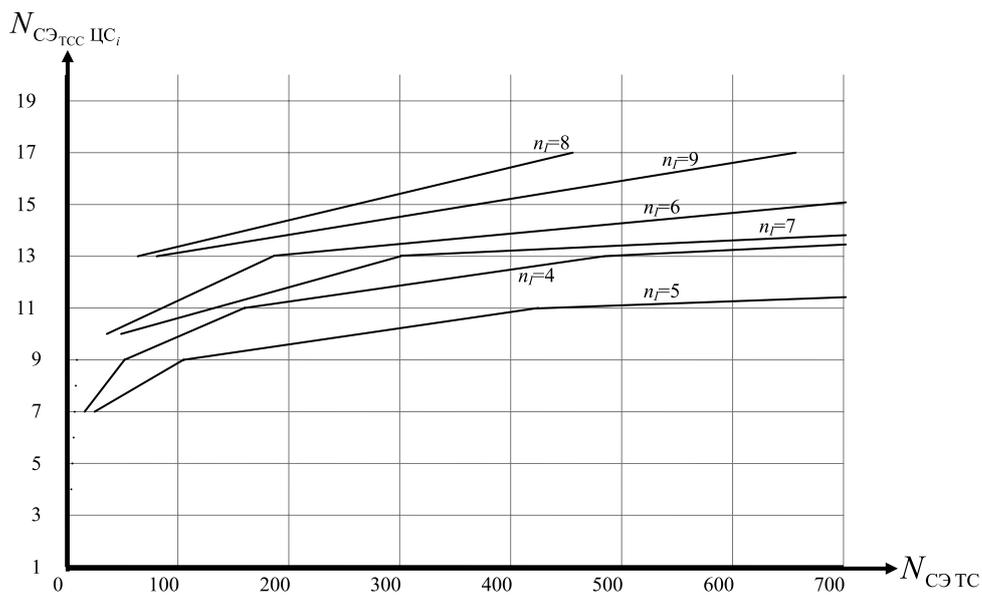


Рис. 3. Зависимость количество СЭ в ЦС от ёмкости ТС (до 700 СЭ),  $n_i=4, \dots, 9$

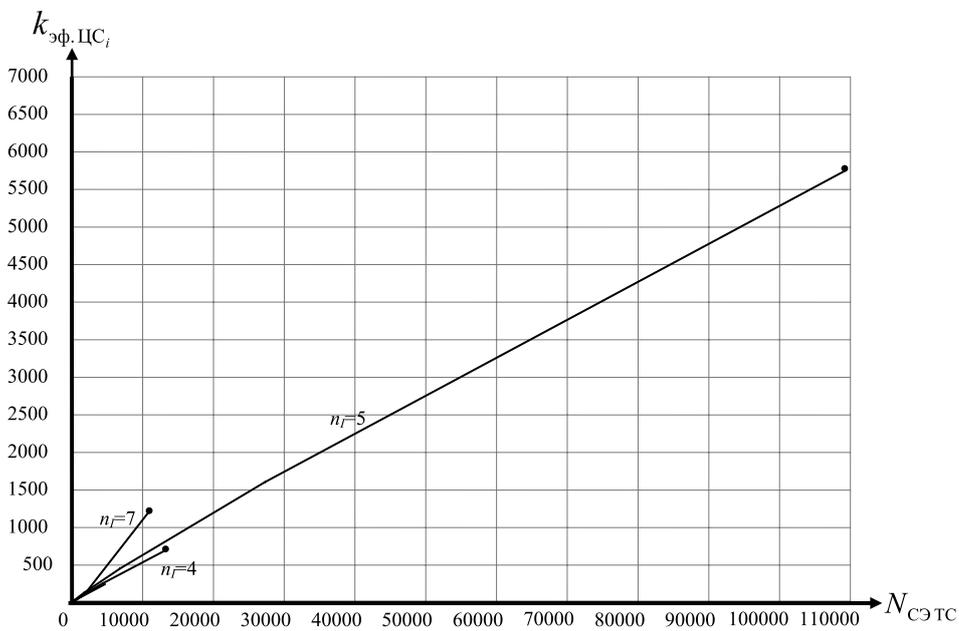


Рис. 4. Зависимость коэффициента эффективности от синхронизируемых СЭ (до 110000 СЭ), при  $n_i=4, 5$  и  $7$

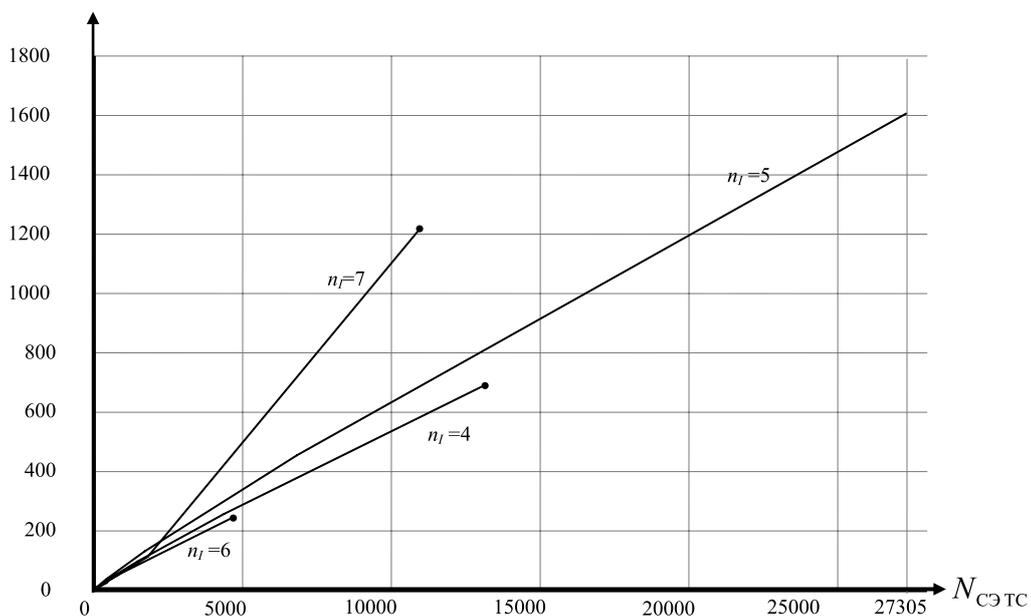


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности от синхронизируемых СЭ (до 27305 СЭ), при  $n_I=4,5$  и 7

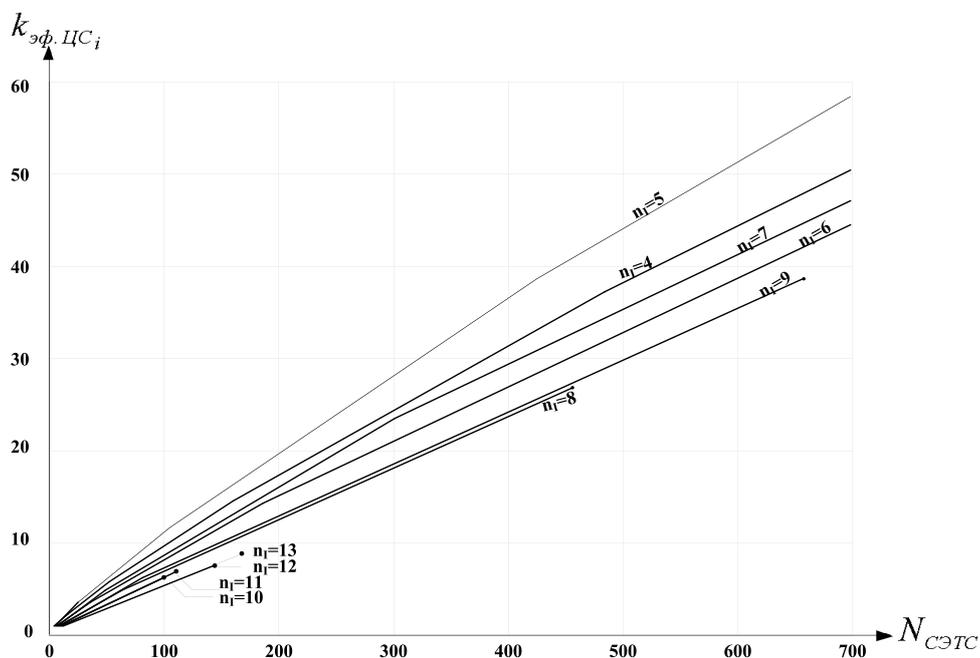


Рис. 6. Зависимость коэффициента эффективности от синхронизируемых СЭ (до 700 СЭ), при  $n_I=4, \dots, 13$

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ

– равномерная многокольцевая схема синхронизации с количеством сетевых элементов в базовом кольце  $n_I = 5$  имеет ряд преимуществ по сравнению с вариантами, где  $n_I < 5$  или  $n_I > 5$ : больше количество синхронизируемых СЭ (до 109000); наименьшее количество СЭ в цепях передачи СС, при  $n = 5$ , что определяет в них меньшее накопление фазовых дрожаний и блужданий; высокий коэффициент эффективности, при  $n = 5$  (до 5748); малое время реконфигурации, при  $n = 5$  (не превышает 4,8 с);

– схема синхронизации с количеством СЭ в базовом кольце  $n_I = 7$  по критерию эффективности превосходит схему с  $n_I = 5$  только в диапазоне ёмкостей от 1700 СЭ до 10800 СЭ.

## Литература

1. Ясинский, С.А. Унифицированные математические модели для анализа и синтеза элементов телекоммуникационных сетей / С.А. Ясинский. – СПб.: Военный университет связи, 2003. – 184 с.
2. Морозов, Г.Г. Формализованная постановка задачи синтеза структуры системы тактовой сетевой синхронизации телекоммуникационной системы / Г.Г. Морозов [и др.] // Информация и Космос. – 2013. – №1. – С. 60–62.

# ИНСТИТУТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

ИНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

- **Производство:**
  - Беспилотные летательные аппараты
  - Рельефные карты
  - Ортофотопланы
  - Комплексы картографирования и навигации
  - Телекоммуникационные видеосистемы повышенной защищенности
- **Проектирование систем:**
  - Геоинформационные технологии
  - Системы поддержки принятия решений
- **Оказание услуг:**
  - Аэрофотосъемка
  - Кадастр
  - Аренда тахеометров
  - Территориальное планирование
  - Сертификация и испытания



**ЗАО «Институт телекоммуникаций»**  
194100, Санкт-Петербург,  
Кантемировская ул., д. 5/5,  
тел.: 740-77-07, факс: 740-77-08