

15. Luo, L., Lin, H., and Schmidt, J. Quantitative relationships between soil macropore characteristics and preferential flow and transport. // Soil Science Society of America Journal. – 2010. – vol. 74(6). – pp. 1929–1937.

16. Macintyre, A. G., Barbera, J. A., and Smith, E. R. Surviving collapsed structure entrapment after earthquakes: A time-to-rescue analysis // Prehospital and Disaster Medicine. – 2006. – vol. 21(01). – pp. 4–17.

17. Matthies, L., Kelly, A., Litwin, T., and Tharp, G. Obstacle detection for unmanned ground vehicles: A progress report // In International Symposium of Robotics Research. - 1995. - pp. 475–486.

18. Matthies, L. and Rankin, A. Negative obstacle detection by thermal signature. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2003. – vol.- pp. 906–913.

19. Onosato, M., Takemura, F., Nonami, K., Kawabata, K., Miura, K., and Nakanishi, H. Aerial robots for quick information gathering in USAR // In International Joint Conference of the Society of Instrument Control Engineers and the Institute of Control, Automation and Systems Engineers. – 2012. – pp. 3435–3438.

20. Onosato, M., Yamamoto, S., Kawajiri, M., and Tanaka, F. Digital gareki archives: An approach to know more about collapsed houses for supporting search and rescue activities // IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics. - 2012. - – pp. 40.

### Сведения об авторе

**Фролова Нина Анатольевна** - доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Амурский государственный университет (675027, Россия, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, e-mail:ninelfr@mail.ru)

УДК 621.396.

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-04-8

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНВАРИАНТНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Доктор техн. наук **В.Б. Малинкин**<sup>1</sup>, кандидат техн. наук **А.В. Малинкин**,  
кандидат техн. наук **Е.В. Малинкин**  
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Доктор техн. наук **М.Н. Петров**  
Сибирский государственный университет науки и технологии  
им. М.Ф. Решетнева

*Проведён анализ работы кольцевых радиорелейных структур, работающих в одной той же полосе частот и позволяющий бороться с мультипликативной помехой. Приведена структура кольцевой инвариантной сети. Приведены качественные характеристики такой сети, даны рекомендации.*

**Ключевые слова:** эхокомпенсатор ЭК; надёжность связи; характеристики качества; инвариантный передатчик; инвариантный приёмник; устройство согласования с каналом УСК; мультиплексор МХ; первичный эталонный генератор ПЭГ.

## ANALYSIS OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF INVARIANT RING RADIO RELAY NETWORKS IN THE HARD NORTH CONDITIONS

**Dr. (Tech.) V.B. Malinkin, Ph.D. (Tech.) A.V. Malinkin,  
Ph.D. (Tech.) E.V. Malinkin**

**Siberian State University of Telecommunications and Information, Russian Federation**

**Dr. (Tech.) M.N. Petrov**

**Siberian State University of Science and Technology them. M.F. Reshetnev**

*This article analyzes the operation of ring radio relay structures operating in the same frequency band and allowing to deal with multiplicative interference. The structure of the ring invariant network is given. The qualitative characteristics of such a network are given, recommendations are given.*

**Keywords:** echo canceler EK; reliability of communication; quality characteristics; invariant transmitter; invariant receiver; device for matching with the USK channel; MX multiplexer; primary reference PEG generator.

**Введение.** Крайний Север России – это огромные территории с малой плотностью населения. Обеспечить услугами в сфере телекоммуникаций население и промышленные предприятия затруднительно. Прокладка телекоммуникационных оптических кабелей экономически неоправданно из-за короткого летнего периода, огромных расстояний и большого количества болот и водных преград. Кроме этого, в высоких широтах действует специфическая помеха – Северное Сияние, требующее использовать помехоустойчивое кодирование.

Ранее авторами предложено на отдельных участках использовать дуплексный режим рабочих по схеме «точка – точка». В дуплексном режиме используется одна полоса частот для передачи и приёма и инвариантное кодирование.

В данной статье предложена кольцевая структура для зонной сети и проведён анализ её технических характеристик.

**Постановка задачи.** Имеется 5 сетевых элементов. Необходимо организовать радиорелейную сеть в дуплексном режиме, провести анализ особенностей работы такой сети и получить технические характеристики.

**Решение задачи.** Для электромагнитной совместимости на каждом направлении должен использоваться свой диапазон частот. Теория электромагнитной совместимости известна и поэтому в данной статье не исследуется. Для решения данной задачи будем использовать структуру сети SDH (синхронной цифровой иерархии) с возможностью использования сигнала (первичного эталонного генератора). На рис. 1 представлена структура радиорелейной сети SDH. Количество сетевых элементов может быть увеличено, или уменьшено. Между сетевыми элементами может быть организован регенерационный пункт, который может быть интерпретирован как дополнительный сетевой элемент. В каждом сетевом элементе используется стандартное мультиплексное оборудование, а также два устройства согласования с каналом (УСК). Структура УСК рассмотрена ниже.

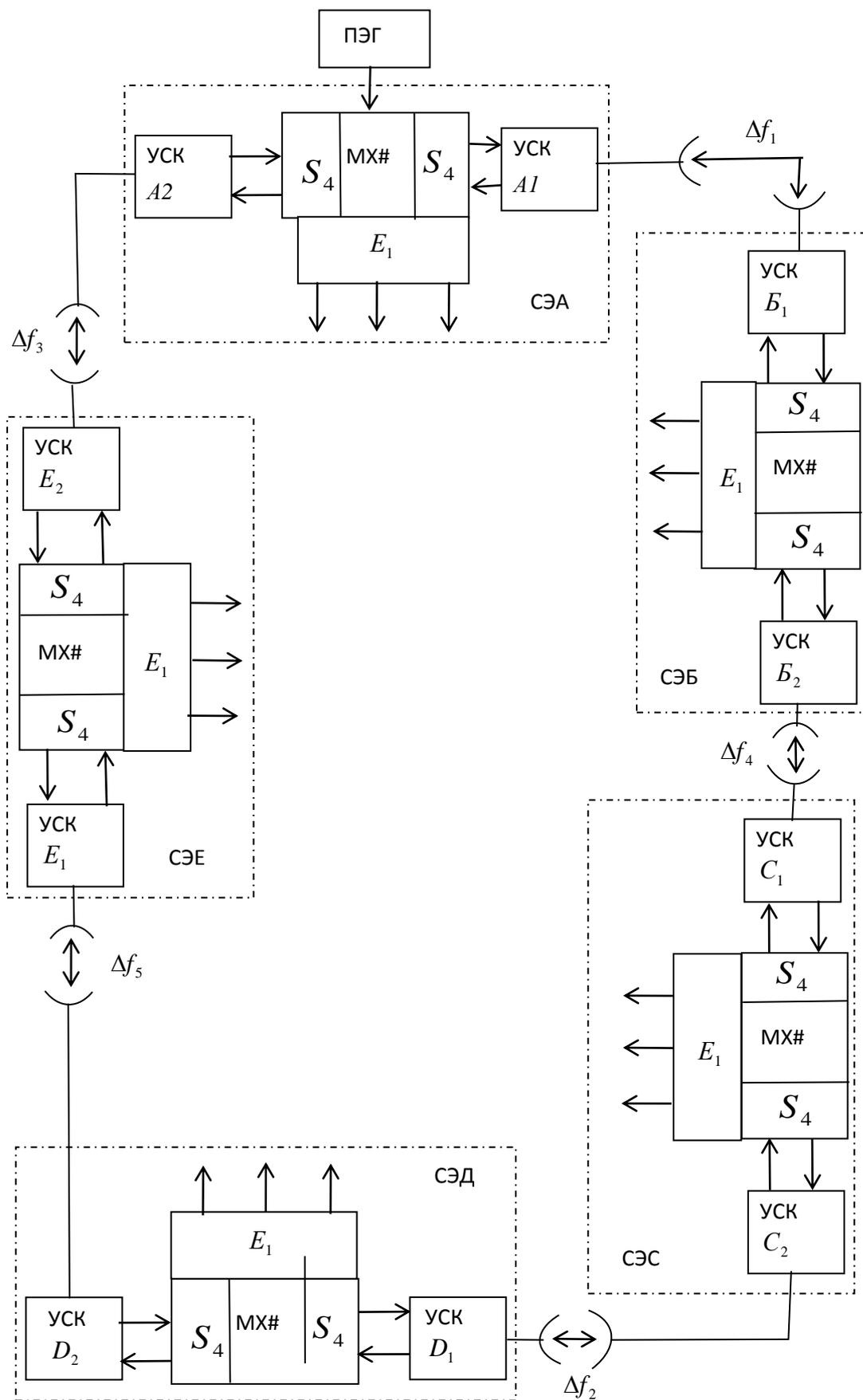
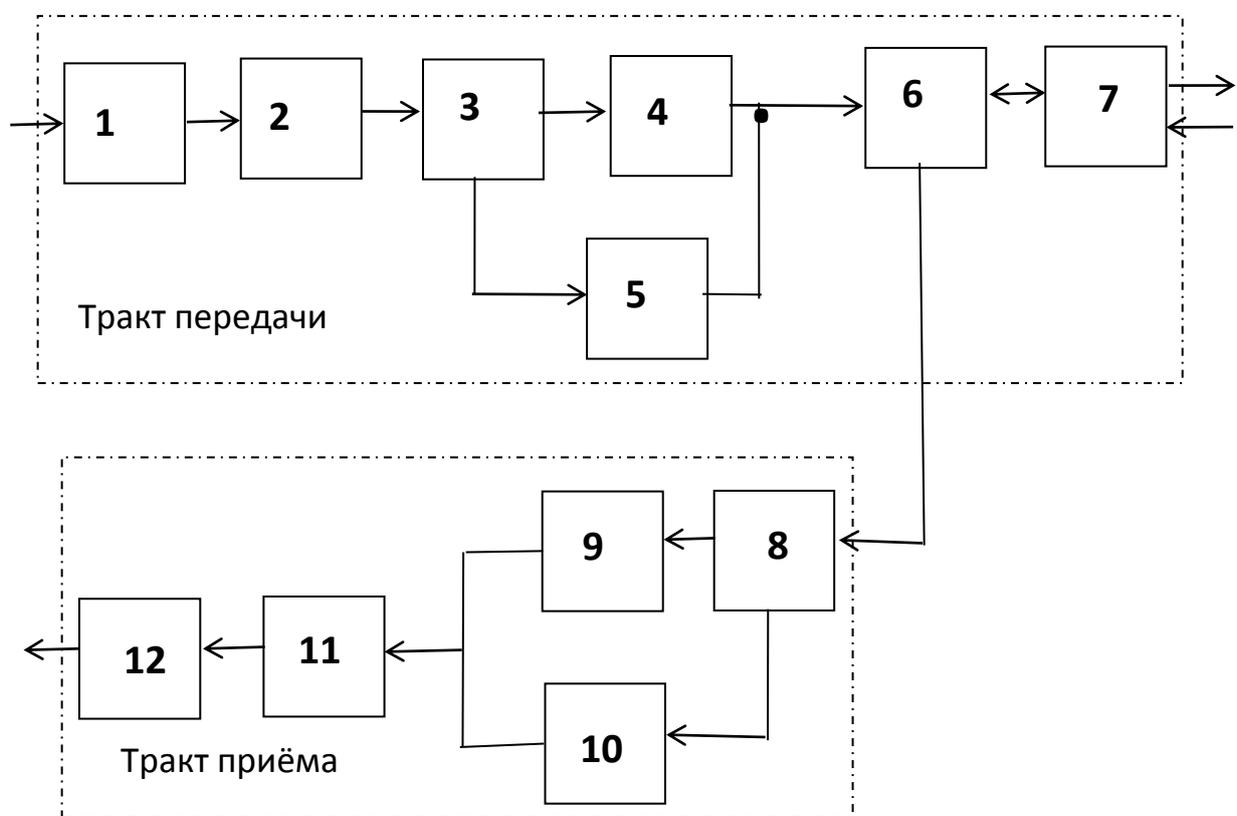


Рис. 1. Структура инвариантной кольцевой радиорелейной сети

При этом, в котором УСК используется эхокомпенсатор, кодер и декодер специально-го кодирования в соответствии с инвариантным равенством. Диапазон частот в каждом сетевом элементе выбран в соответствии с электромагнитной совместимостью. Так, на сетевом элементе А (станция А) используется диапазон частот  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_3$ . Аналогично выбираются диапазоны частот для других сетевых элементов. На сетевом элементе Б используется диапазон  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_4$ ; на сетевом элементе С используется  $\Delta f_4$  и  $\Delta f_2$ ; на сетевом элементе Д используется  $\Delta f_2$  и  $\Delta f_5$ ; на сетевом элементе Е используется  $\Delta f_3$  и  $\Delta f_5$ .

На рис. 2 представлена структура УСК, в состав которого входит: на передаче - инвариантный передатчик 1; линейный кодер 2; первый коммутатор 3; кодер горизонтальной поляризации 4; кодер вертикальной поляризации 5; эхокомпенсатор 6; согласующее устройство 7; на приёме – коммутатор 8; декодер горизонтальной поляризации 9; декодер вертикальной поляризации 10. Линейный декодер 11 и инвариантный приёмник 12.



- 1 – инвариантный передатчик;
- 2 – линейный кодер;
- 3 – коммутатор;
- 4 – кодер горизонтальный поляризации;
- 5 – кодер вертикальный поляризации;
- 6 – инвариантный эхокомпенсатор;
- 7 – согласующее устройство;
- 8 – коммутатор 2;
- 9 – декодер горизонтальный поляризации;
- 10 – декодер вертикальный поляризации;
- 11 – линейный декодер;
- 12 – инвариантный приёмник.

Рис. 2. Структура УСК

Следует заметить, что эхокомпенсатор 6 и согласующее устройство 7 являются общими для передающего и приёмного трактов.

Для обеспечения работы инвариантного эхокомпенсатора 6 на передаче и приёме используется различное кодирование горизонтальной и вертикальной поляризации. С точки зрения теории связи, различные виды поляризации сводятся к разовому сдвигу всех частотных составляющих двух комплексных спектров.

Кратко принцип работы любого УСК, использующих в кольцевой структуре заключается в следующем. С восточного направления тракта передачи (предположим, в сетевом элементе А) стандартный цифровой поток SDH-N поступает на вход инвариантного передающего устройства 1, в котором для борьбы с мультипликативной помехой радиоканала модуляционный параметр вложен в отношении комплексных спектров на соседних блоках. Далее, сигнал передачи дополнительно кодируется линейным кодером 2 и поступает на вход коммутатора 3. С помощью кодера горизонтальной поляризации 4 и кодера вертикальной поляризации 5 линейному сигналу передачи придаётся дополнительный фазовый сдвиг. Кодеры 4 и 5 являются по – сути фазовращателями. С помощью инвариантного эхокомпенсатора 6 производится компенсация сигналов передачи в тракте приёма. Согласующее устройство 7 производит согласование антенно-фидерного устройства с параметрами сетевых элементов.

В тракте приёма производятся следующие операции. После компенсации сигналов передачи в тракте приёма в эхокомпенсаторе 6, сигналы приёма с остаточным шумом недокомпенсации, аддитивным шумом радиоканала и мультипликативной помехой поступают на вход коммутатора 8, работающего в противофазе с коммутатором 3. С помощью декодера горизонтальной поляризации 9 и декодера вертикальной поляризации 10 устраняется дополнительный фазовый сдвиг всего частотного спектра сигналов приёма. С помощью линейного декодера 11 производится преобразование линейного сигнала приёма. В инвариантном приёмнике 12 производится компенсация мультипликативной помехи путём деления комплексных спектров приёма на соседних блоках обработки. Демодулированный сигнал, в дальнейшем, подаётся в приёмный тракт восточного направления мультиплексного оборудования сетевого элемента А.

При анализе работы каждого сетевого элемента не показана работа тактовой, цикловой и сверхцикловой синхронизаций. Эти процедуры являются стандартными и в данной статье не используются. Для работы трёх видов синхронизации используется высокостабильная синхрочастота, получаемая от одного из источников первичного эталонного генератора (ПЭГ).

### Технические характеристики и результаты эксперимента

Радиорелейная кольцевая структура SDM имеет свои особенности. В такой структуре многократно использовано свойство «инвариантности» для повышения качественных характеристик.

Во-первых свойство инвариантности использовано для борьбы с мультипликативной помехой, порождённой особенностями работы телекоммуникационных систем в условиях Крайнего Севера – это Северное Сияние. Для борьбы с мультипликативной помехой использовано инвариантное свойство любых линейных четырёхполюсников – отношение комплексных спектров на соседних блоках обработки на входе и выходе есть величина постоянная. Если принять за вход линейного четырёхполюсника вход УСК, предположим сетевого элемента А, а выходом линейного четырёхполюсника будем считать, предположим, выход УСК сетевого элемента Б, то тогда справедливо следующее соотношение

$$\frac{S_{i\text{ сЭА}}(jk\omega_1)}{S_{i\text{ он.сЭА}}(jk\omega_1)} = \frac{S_{i\text{ сЭБ}}(jk\omega_1)}{S_{i\text{ он.сЭБ}}(jk\omega_1)}, \quad (1)$$

где  $S_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр передачи информационного сигнала сетевого элемента А на  $i$ - том блоке;

$S_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр передачи опорного сигнала сетевого элемента

А на  $i$ - том блоке;

$S_{i\text{СЭБ}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр приёма информационного сигнала сетевого элемента Б на  $i$ - том блоке;

$S_{i\text{он.СЭБ}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр приёма опорного сигнала сетевого элемента Б на  $i$ - том блоке.

В соответствии с выражением (1) информационный сигнал необходимо преобразовать в частотную область. В качестве опорного сигнала для простоты реализации лучше взять отчёты синусоидального сигнала и преобразовать в частотную область. Аналогично, в направлении от сетевого элемента Б к сетевому элементу А использовано то же самое инвариантное равенство (1). На остальных направлениях, в зависимости от количества сетевых элементов в сети, используется также инвариантное равенство.

Во-вторых свойства инвариантности использовано для борьбы с экосигналами. Если считать входом линейного четырёхполюсника выход линейного кодера, а выходом линейного четырёхполюсника считать выход эхокомпенсатора, то тогда справедливо следующее соотношение (рассмотрено для сетевого элемента А).

$$\frac{S_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)}{S_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)} = \frac{\Pi_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)}{\Pi_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)}, \quad (2)$$

где  $S_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр передачи информационного сигнала сетевого элемента А на  $i$ - том блоке;

$S_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр передачи опорного сигнала сетевого элемента

А на  $i$ - том блоке;

$\Pi_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр экосигнала на выходе эхокомпенсатора сетевого элемента А, порождённого комплексным спектром передачи информационного сигнала;

$\Pi_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$  - комплексный спектр экосигнала на выходе эхокомпенсатора сетевого элемента А, порождённого комплексным спектром опорного сигнала.

Из выражения (2) следует

$$\Pi_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1) = \Pi_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1) \cdot \frac{S_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)}{S_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)}. \quad (3)$$

На передаче известны значения  $S_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)$  и  $S_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$ .

Неизвестны значения  $\Pi_{i\text{CЭА}}(jk\omega_1)$  и  $\Pi_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$ . Если же умножить неизвестное значение  $\Pi_{i\text{он.СЭА}}(jk\omega_1)$  на отношение известного значения комплексного информационного сигнала и комплексного спектра опорного сигнала, то в соответствии с выраже-

нием (3), получим оценку помехи. Истинное значение эхосигнала, в дальнейшем, компенсируется оценкой эхосигнала с большой точностью. Более подробно механизм компенсации эхосигнала описан авторами в предыдущей статье.

«Эквивалентной платой» за организацию дуплексного обмена в одной полосе частот является уменьшение защищённости на входе приёмного устройства. В [1] приведено расчётное равенство уменьшения защищённости.

$$\Delta A = 10 \lg \sqrt{\frac{\sigma_{\text{кс}}^2 + 3\sigma_{\text{АЦП}}^2 + \frac{9}{256} \cdot P_{\text{пр}}}{\sigma_{\text{кс}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2}}, \quad [9] \quad (4)$$

где  $\Delta A$  - величина, характеризующая уменьшения защищённости;

$\sigma_{\text{кс}}^2$  - мощность аддитивного шума канала связи;

$\sigma_{\text{АЦП}}^2$  - мощность шума АЦП;

$P_{\text{пр}}$  - мощность принимаемого сигнала.

За счёт использования инвариантного соотношения для борьбы с мультипликативной помехой, действие указанной выше помехи почти нивелируется. В [1] указано, что использование инвариантной обработки позволяет получить вероятность ошибочного приёма, приближающуюся к вероятности ошибочного приёма классической фазовой модуляции при отсутствии помехи.

**Выводы.** Предложен алгоритм и структура её реализующая организации кольцевой сети SDN на основе использования радиорелейных систем. Предложенный алгоритм может найти широкое применение в следующих поколениях радиорелейных систем.

## Литература

1. Малинкин В.Б. Повышение помехоустойчивости принимаемых сигналов на основе модифицированных фильтров Калмана в относительных компенсационных методах /диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, Омск. - 2003, с. 196.
2. Солонина А.И., Уляхович Д.А., Арбузов С.М. и др. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций – Санкт-Петербург/ БХВ – Петербург. - 2003, 394 с.
3. Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией / Н.Т. Петрович – М.: Сов. Радио. - 1965, 263 с.
4. Малинкин В.Б. Инвариантная обработка сигналов в радиотехнических системах /В.Б. Малинкин, Е.И. Алгазин, А.В. Малинкин. Монография, Красноярск, изд. Поликом. - 2012, 243 с.

## Сведения об авторах

**Малинкин Виталий Борисович** - профессор, профессор кафедры «Многоканальная электрическая связь» Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102. г. Новосибирск, ул. Кирова, 86. e-mail: mesmnb@yandex.ru.

**Малинкин Андрей Витальевич** - инженер –исследователь Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

*Малинкин Евгений Витальевич* - инженер –исследователь Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

*Петров Михаил Николаевич* – профессор, главный научный сотрудник Сибирского государственного университета науки и технологии им. М.Ф. Решетнева, (Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31), т. 8 (391) 293 -20-70, e-mail: mnp\_kafes@mail.ru.

УДК 551.345; 519.816

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-04-9

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ И АВАРИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ

Кандидат техн. наук *Г.П. Стручкова*,  
кандидат физ.-мат. наук *Т.А. Капитонова*,  
ведущий инженер *П.В. Ефремов*

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН

*Современные нефтегазопроводы, построенные на северных территориях России, эксплуатируются в сложных условиях, при которых показатели надежности и безопасности технических систем снижаются в 2-3,5 раза, затраты на восстановление возрастают в 5-8 раз. Оценка риска может помочь эксплуатирующим организациям определить компоненты риска и выработать соответствующие мероприятия и стратегию для уменьшения опасности и смягчения последствий. Условия функционирования и окружающей среды сильно различаются как во времени, так и в пространстве. Рассматривается исследование, включающее применение анализа многолетних данных мониторинга отказов и аварий на магистральном газопроводе Мастах – Берге – Якутск с использованием дифференцированной информации по отказам трубопровода.*

**Ключевые слова:** магистральные газопроводы, многолетняя мерзлота, статистический анализ, вероятностные методы, запас прочности.

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF FAILURES AND ACCIDENTS OF THE MAIN PIPELINE USING A FUZZY RISK ASSESSMENT

Ph.D. (Tech.) *G.P. Struchkova*, Ph.D. (Phys.-Math.) *T.A. Kapitonova*,  
leading engineer *P.V. Efremov*

Larionov's Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS