При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:
Дудариков О.Н., Кравцов Е.В., Лихоманов М.О., Мистров Л.Е. Статистические оценки схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала на основе процедур пересечения и объединения // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 5. (57). С. 7-18

УДК 621.317.361

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ-ОЦЕНИВАНИЯ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУР ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ОБЪЕДИНЕНИЯ

Дудариков О.Н., Кравцов Е.В., Лихоманов М.О., Мистров Л.Е.

Показана работоспособность схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала на основе совместного применения процедур пересечения и объединения. Получены зависимости, позволяющие обоснованно выбирать параметры элементов схемы. На основе статистических оценок обработки аддитивной смеси непрерывного сигнала и шума, импульсного сигнала и шума определены граничные значения отношения сигнал/шум, позволяющие получить достоверные оценки. Показано преимущество режима функциональной устойчивости в обеспечении помехоустойчивости и точности оценки частоты над линейным режимом. Сделан вывод, подтверждается выигрыш в уменьшении ширины области обнаружения-оценивания частоты сигнала в предлагаемом способе по сравнению с прототипом при одновременном сохранении большей энергии сигнала. Реализация полосовых фильтров на процедуре пересечения позволяет реализовать режим функциональной устойчивости схемы формирования области обнаружения-оценивания, обеспечивая выигрыш в точности оценки частоты по сравнению с линейным режимом. Полученные в ходе работы зависимости наряду с граничными оценками позволяют проводить обоснованный выбор параметров элементов схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала

Ключевые слова: обнаружение-оценивание частоты, функциональная устойчивость, радиомониторинг.

1 Введение

К специальным техническим средствам обнаружения и измерения параметров сигналов, используемым в комплексах радиомониторинга (РМ) и радиотехнической разведки, предъявляются жесткие требования по ширине рабочего частотного диапазона, времени обработки информации, массе, габаритам и т.п. [1]. Кроме этого, при проектировании комплексов радиомониторинга (КРМ) также должны учитываться требования по помехоустойчивости [2], электромагнитной совместимости и др. [3]. Однако, в настоящее время для радиотехнических средств и систем стала одной из определяющих такая характеристика, как функциональная устойчивость (ФУ), обусловленная усложнением реальной радиоэлектронной обстановки и условий функционирования КРМ.

Для существующих КРМ одним из направления повышения ФУ является реализация

Дудариков Олег Николаевич, ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Воронеж
Кравцов Евгений Владимирович, к.т.н., доцент – ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Воронеж
Лихоманов Михаил Олегович, ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Воронеж
Мистров Леонид Евгеньевич, д.т.н., доцент, ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Центральный филиал РГУП
Воронеж

режима ФУ (РФУ), обеспечивающего их работу в сложной помеховой обстановке, сформированной в том числе средствами постановки преднамеренных помех, воздействующими на объекты РМ.

Один из подходов обеспечения РФУ в составных частях средств РМ предложен в [4] применительно к одной из важнейших задач, решаемой аппаратурой радио- и радиотехнической разведки – измерению частот радиосигналов. В [5] рассмотрен способ повышения точности измерения частоты сигнала на основе совместной реализации процедур пересечения и объединения, обеспечивающие сочетание высокой точности оценки и получение существенно меньших потерь энергии сигнала (принятие решения на уровне 0,7–0,9 от максимума). Полученная количественная оценка характеризует потенциальные возможности способа измерения частоты, однако усложнение реальной радиоэлектронной обстановки и условий функционирования КРМ обусловливают необходимость его оценки с учетом требования ФУ.

Целью статьи является – получение статистических оценок схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала на основе процедур пересечения и объединения для линейного режима (ЛР) работы и РФУ.

Схема проведения исследований приведена на рисунке 1 [5], где слева направо обозначены: ПФ – полосовые фильтры; АД – амплитудные детекторы; ФНЧ – фильтры нижних частот (интеграторы); упрощенное обозначение блока, реализующего процедуры пересечения $(\cap)$ и объединения $(\cup)$ [6]; усилитель сигнала пересечения и компаратор.

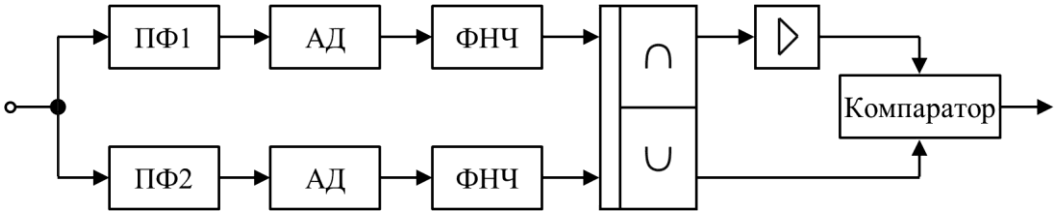


Рисунок 1. Схема формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала

2. Работоспособность способа обнаружения-оценивания

Для оценки работоспособности данного способа осуществим анализ работоспособность, приведенной на рисунке 1, схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала. В схеме в качестве полосовых фильтров (ПФ) применены цифровые трансверсальные ПФ пятнадцатого порядка [7], реализованные на процедуре умножения и процедуре пересечения. В первом случае их работа описывается конечными цифровыми свертками вида [8]

$$y_n = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \cdot x_{n-i}\,, \qquad (1)$$

где x_n – отсчеты входного сигнала фильтра; y_n – отсчеты выходного сигнала фильтра; a_i – отсчеты импульсной характеристики (ИХ) фильтра.

Во втором случае работа ПФ описывается выражением

$$y_n = \sum_{i=0}^{N-1} k \cdot a_i \cap x_{n-i}\,, \qquad (2)$$

где k – некоторый коэффициент «включения» (КВ) ИХ фильтра.

Для расчета АЧХ трансверсального фильтра традиционным способом использовалось выражение [8]

$$K(j\omega) = a_0 + \sum_{i=1}^{m} a_i \cdot e^{-j\omega i\Delta}\,, \qquad (3)$$

где $a_0, a_i, \ldots, a_m$ – коэффициенты фильтра; m – порядок фильтра; Δ – интервал дискретизации.

Применение операция пересечения преобразует (3) к виду

$$K_n(j\omega) = a_0 + \sum_{i=1}^{m} \left|a_i + \cos(\omega i\Delta)\right| - \left|a_i - \cos(\omega i\Delta)\right| - j\sum_{i=1}^{m} \left|a_i + \sin(\omega i\Delta)\right| - \left|a_i - \sin(\omega i\Delta)\right|. \qquad (4)$$

ПФ в схеме исследования отличаются частотами настройки, которые составляют: $f_1 \approx 7$ МГц и $f_2 = 9{,}3$ МГц и определяются выбором частот дискретизации. Частоты настройки подобраны таким образом, чтобы уровень пересечения АЧХ лежал в пределах 0,8–

0,9 от максимума. Результаты моделирования АЧХ схемы (рисунок 1) приведены на рисунке 2.

На рисунке 2а цифрами 1 и 2 обозначены АЧХ ПФ, полученная на основе процедуры умножения, а цифрами 3 и 4 – АЧХ ПФ на процедуре пересечения.

Обращает на себя внимание некоторое расширение АЧХ фильтра с большей частотой настройки, что, по-видимому, связано с особенностями моделирования за счет увеличения частоты дискретизации при неизменной ИХ. Однако это с точки зрения общего анализа не принципиально и приводит лишь к некоторой асимметрии области обнаружения-оценивания (ОО).

На рисунке 2б цифрами 1 и 2 обозначены АЧХ схемы с выхода пересечения и с выхода объединения соответственно при реализации ПФ на процедуре умножения (традиционно). Цифрами 3 и 4 обозначены одноименные АЧХ, но при реализации ПФ на процедуре пересечения.

Реализация ПФ на процедуре пересечения необходима для обеспечения РФУ. На рисунке 3 показаны АЧХ схемы с областью ОО, где результаты моделирования для ПФ на умножении показаны на рисунках 3а и 3в, для ПФ на пересечении – на рисунках 3б и 3г.

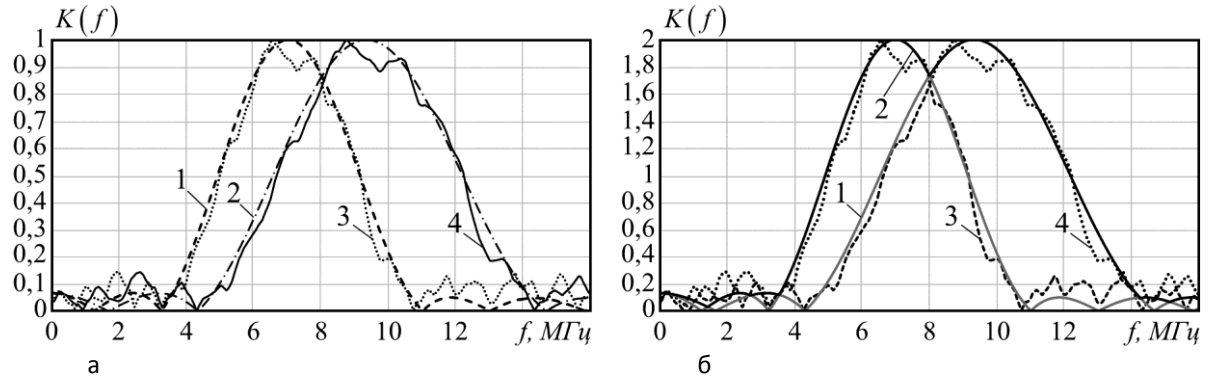


Рисунок. 2. АЧХ схемы исследования

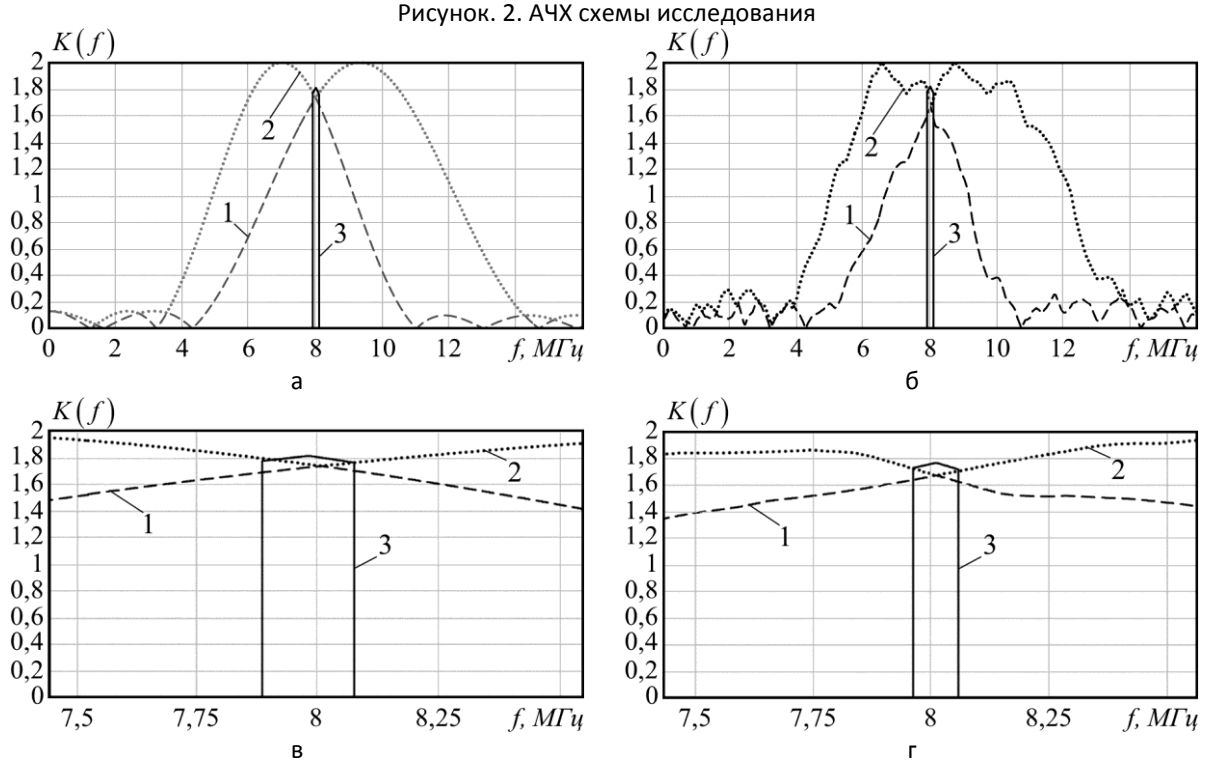


Рисунок. 3. АЧХ схемы на выходе компаратора

На рисунках 3в и 3г фрагменты АЧХ схемы для области ОО показаны более крупным планом. Цифрами 1 и 2 обозначены АЧХ с выходов пересечения и объединения соответственно, а цифрой 3 – АЧХ с выхода компаратора, представляющая собой область ОО.

ПФ на процедуре пересечения. В обоих случаях значение коэффициента усиления усилителя или порогового коэффициента (ПК) принято $C = 1,02$.

Результаты моделирования схемы, таким образом, полностью подтверждают вид и характер тех предельных оценок, которые были получены ранее в [5].

3. Получение статистических оценок

Для начала исследованию подвергнуто поведение граничных оценок параметров области ОО, полученных в [5] для случая колокольной аппроксимации АЧХ ПФ

$$K(f) = exp\left[-0,7\left(\frac{2f}{\Delta f_{\text{п}}}\right)^2\right], \qquad (5)$$

где $\Delta f_{\text{п}}$ – полоса пропускания ПФ.

Для этого на основании выражения, определяющего среднее значение ширины ОО (при заданном уровне пересечения АЧХ ПФ $0,7 \le в \le 0,9$) [5]

$$\overline{\Delta f} \approx 1,4 \cdot \Delta f_{\text{п}} \frac{(C-1)}{(C+1)}, \qquad (6)$$

установлены зависимости нормированной средней ширины области ОО от ПК C для различных значений нормированной ширины АЧХ ПФ

$$\overline{\Delta f} / f_0 = F(C), \text{ при } \Delta f_{\text{п}} / f_0 = const. \quad (7)$$

Нормировка проведена относительно частоты настройки ПФ f_0. Графики указанных зависимостей приведены на рисунке 4, где цифрами 1, 2, 3 обозначены кривые для нормированных отношений $\Delta f_{\text{п}} / f_0$, равных 0,1; 0,05; 0,01 соответственно.

Диапазон изменений ПК C, ограничивающий ширину области ОО принят от $C = 1$, когда ширина области вырождается в точку, до $C = 1,2$, когда еще обеспечивается максимальная крутизна встречно расположенных пиков сигналов (АЧХ) пересечения и объединения и действие шума при входном отношении $U_m / \sigma_{\text{ш}} \approx 3$, сказывающееся на расширении области, можно считать допустимым.

Из анализа графиков следует, что наибольшая скорость изменения приведенных зависимостей имеет место при меньших значениях ПК. Именно такие значения и следует выбирать при заданном входном отношении сигнал/шум (ОСШ).

Аналогичным образом на основании (6) получены зависимости нормированной средней ширины области ОО от нормированной ширины АЧХ ПФ для различных значений ПК C вида

$$\overline{\Delta f} / f_0 = F(\Delta f_{\text{п}} / f_0), \text{ при } C = \text{const}. \quad (8)$$

Графики указанных зависимостей приведены на рисунке 5, где цифрами 1, 2, 3, 4, и 5 обозначены зависимости нормированной средней ширины области ОО для значений ПК C: 1,01; 1,05; 1,1; 1,15 и 1,2 соответственно.

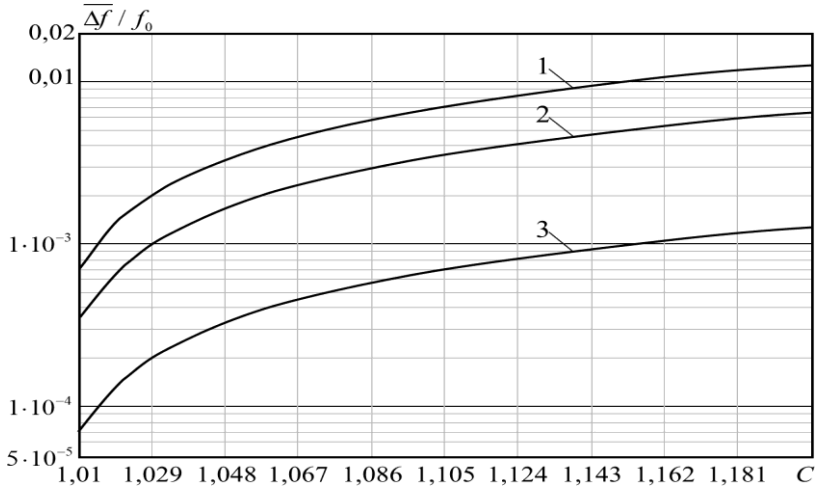


Рисунок. 4. Зависимости ширины области ОО от ПК

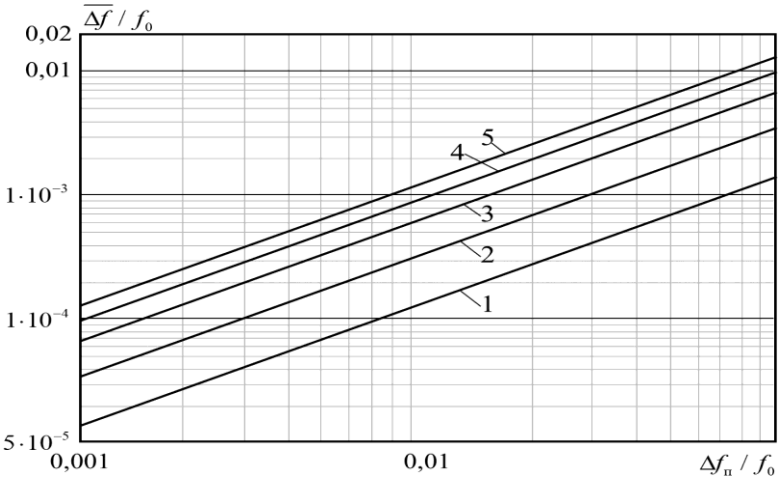


Рисунок. 5. Зависимости ширины области ОО от относительной ширины полосы пропускания ПФ

Анализ приведенных результатов свидетельствуют о линейном характере зависимости ширины области от полосы пропускания ПФ и позволяют, наряду с графиками на рисунке 4, проводить оценочный выбор соответствующих параметров.

Для получения статистических оценок на входе схемы использована смесь гармонического сигнала и нормально распределенного шума с нулевым средним и заданной дисперсией в виде

$$u_{вх}(t, f) = U_m \cos(2\pi ft) + n(t), \quad (9)$$

где f – частота сигнала; U_m – амплитуда сигнала; $n(t)$ – входной шум.

При реализации ПФ на процедуре умножения выходные сигналы фильтров получены на основании линейной свертки вида

$$u_1(t, f) = \int u_{вх}(t, f) \cdot h_1(t-\tau) d\tau, \quad (10)$$

$$u_2(t, f) = \int u_{вх}(t, f) \cdot h_2(t-\tau) d\tau, \quad (11)$$

где u_1, u_2 – сигналы на выходе ПФ; $u_{вх}$ – сигналы на входах ПФ; h_1, h_2 – импульсные характеристики ПФ.

При реализации ПФ на процедуре пересечения в РФУ для получения выходных сигналов использована нелинейная свертка вида

$$u_1(t, f) = \int u_{вх}(t, f) \cap h_1(t-\tau) d\tau, \quad (12)$$

$$u_2(t, f) = \int u_{вх}(t, f) \cap h_2(t-\tau) d\tau \ldots. (13)$$

В процессе моделирования предусмотрена возможность управления амплитудами полезного сигнала, ИХ и дисперсией шума. Реализация (12) и (13) проведена в дискретной форме в соответствии с (2). Соответствующие схеме исследования (рисунок 1) операции детектирования и интегрирования (фильтрации нижних частот) реализуются стандартно.

Проведена статистическая оценка ширины области ОО для рассматриваемых случаев реализации ПФ. Для этого исследованы зависимости математического ожидания (МО) ширины области ОО от входного ОСШ, которая получена в виде

$$\overline{\Delta f} / f_0 = F\left(U_m / \sigma_ш\right), \text{ при } C = \text{const}. \quad (14)$$

Значение ширины области Δf определялось из условия

$$\Delta f = \left| f_1 - f_0 \right|, \quad (15)$$

где f_1 – значение частоты, при котором происходит первое срабатывание схемы в процессе изменения частоты сигнала при реализации алгоритма принятия решения в виде $C \cdot U_\cap(f) \geq U_\cup(f)$ [5].

Нормировка ширины области, в отличие от случая граничной оценки (8), проведена относительно частоты f_0, соответствующей равносигнальному уровню.

МО ширины области $\overline{\Delta f}$ находилось путем осреднения множества реализаций, обеспечивающего необходимую достоверность оценки.

Результаты исследования в виде относительного значения МО ширины области ОО $\overline{\Delta f} / f_0$ от ОСШ $U_m / \sigma_ш$ на входе для случая непрерывного гармонического сигнала и ПФ на

процедуре умножения приведены на рисунке 6, где на рисунке 6а представлены зависимости, полученные в результате моделирования, а на рисунке 6б – аналогичные, но сглаженные зависимости. Цифрами 1; 2; 3 обозначены графики для значений ПК C, равного: 1,05; 1,1; 1,15 соответственно. Сглаживание статистических зависимостей проведено с использованием библиотеки numpy для языка Python 3.8 на основе применения функции линейного сглаживания методом наименьших квадратов polyfit по правилу k ближайших соседей с адаптивным выбором k Гаусса.

Как следует из анализа кривых на рисунке 6б, ширина области ОО в случае квазинепрерывного сигнала существенно зависит от ОСШ только для области небольших значений отношения $U_m / \sigma_{\text{ш}} < 2$. Для значений отношения $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 3$ ширина области практически не зависит от этого отношения и для квазинепрерывных сигналов указанное отношение следует считать граничным для получения достоверной оценки.

Результаты исследования ширины области для случая импульсных сигналов показывают, что достоверная оценка имеет место для значений ОСШ не менее восьми ($U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 8$).

Зависимость относительной ширины области от ПК C также следует из анализа кривых на рисунке 6б, если зафиксировать ОСШ. Как видно из поведения кривых, эта зависимость существенна и близка к линейной для значений отношения $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 2 \ldots 3$ в случае квазинепрерывного сигнала. В случае импульсного сигнала этот вывод справедлив для отношения $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 5 \ldots 7$.

Аналогичные рисунку 6 результаты при реализации ПФ на процедуре пересечения показаны на рисунке 7. При этом ПФ включены в РФУ, когда имеет место существенное превышение U_m и $\sigma_{\text{ш}}$ амплитуды ИХ ПФ. Цифровые обозначения кривых на рисунке 7 соответствуют принятым на рисунке 6.

Сравнение результатов, представленных на рисунках 6 и 7 свидетельствуют о том, что выводы относительно зависимостей ширины области ОО от ОСШ и от ПК C, сделанные для ЛР, полностью справедливы и для РФУ.

Характер изменения зависимостей и соответствующие значения ширины области весьма близки. Отличие заключается в том, что в области рабочих значений ОСШ РФУ обеспечивает несколько меньшее значение ширины области ОО (в пределах 10 %), чем ЛР. Что свидетельствует о выигрыше в помехоустойчивости и точности оценки РФУ.

Выбор рабочего значения ширины области ОО определяется требованиями к точности измерения при заданном ОСШ и виде сигнала и реализуется путем установки соответствующего значения ПК C. Поэтому представляет интерес более детальное исследование указанной зависимости в виде $\overline{\Delta f} / f_0 = F(C)$, при $U_m / \sigma_{\text{ш}} = \text{const}$, а также фиксированном значении относительной ширины полосы пропускания ПФ.

Результаты этого исследования показаны на рисунке 8, где представлены зависимости относительного значения МО ширины области ОО от ПК C для фиксированных значений ОСШ. Цифрами 1, 2, 3 и 4 обозначены кривые, полученные для ОСШ: 0,5; 1; 2 и 3 соответственно.

Обращает на себя внимание практически линейный характер приведенных зависимостей при ОСШ, равных единице и более, особенно, для $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 3$. Аналогичная картина наблюдается и для импульсных сигналов при $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 6$. Чем выше ОСШ, тем ближе становятся зависимости друг к другу и к линейной. Для ОСШ $U_m / \sigma_{\text{ш}} \geq 10$ практически сливаются в одну линию.

Подтверждается вывод о несколько лучшей помехоустойчивости РФУ.

Полученные зависимости наряду с граничными оценками, приведенными ранее (рисунки 4 и 5), позволяют проводить обоснованный выбор параметров элементов схемы.

Оценка частоты возможна путем нахождения ее значения, соответствующего максимальной амплитуде сигнала в выделенной области ОО, полученной, например, в соответствии с алгоритмом

$$U_{\text{вых}}(f) \approx C \cdot U_{\cap}(f),$$

если $C \cdot U_{\cap}(f) \geq U_{\cup}(f)$,

иначе $U_{\text{вых}}(f) = 0$, (16)

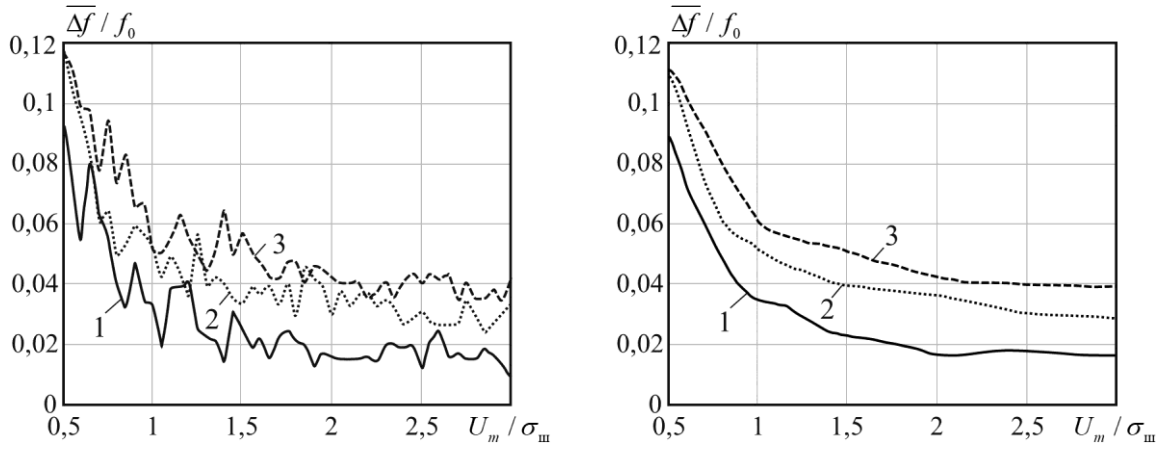
где $U_{\text{вых}}(f)$ – сигнал на выходе компаратора; $C \cdot U_{\cap}(f)$ – усиленный сигнал

пересечения; $U_{\cup}(f)$ – сигнал на выходе блока объединения.

В этом случае представляет интерес исследование вероятности попадания максимального значения сигнала в эту область, а также характер зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) оценки частоты.

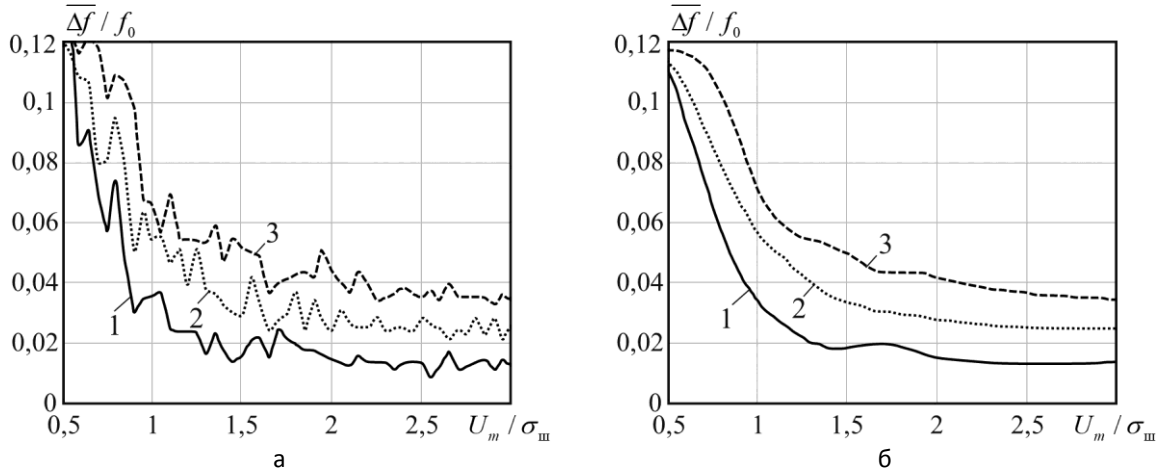
Результаты исследования вероятности попадания (обнаружения) максимума сигнала в область ОО для различных условий представлены на рисунках 9 и 10. Определение вероятности проводилось в частотном смысле как отношение числа успешных испытаний к общему числу опытов. Границы области ОО определялись на основе приведенных выше результатов исследования для большого ОСШ на входе схемы ($U_m / \sigma_{ш} \geq 10$). В качестве исследуемого сигнала использовалась аддитивная смесь гармонического квазинепрерывного полезного сигнала и нормально распределенного шума с нулевым средним и заданной дисперсией. Количество испытаний подбиралось из условия обеспечения необходимой достоверности оценки. Сглаживание полученных статистических зависимостей проведено указанными ранее средствами языка Python 3.8.

На рисунке 9 показаны зависимости вероятности обнаружения максимума сигнала в заданной области ОО $P_{о}$ от ОСШ на входе схемы при фиксированном значении ПК C в виде $P_{о} = f\ (U_m / \sigma_{ш})$, при $C = \text{const}$. Цифрами на рисунке обозначены зависимости: 1 – для ЛР работы ПФ; 2 – для РФУ.



а б

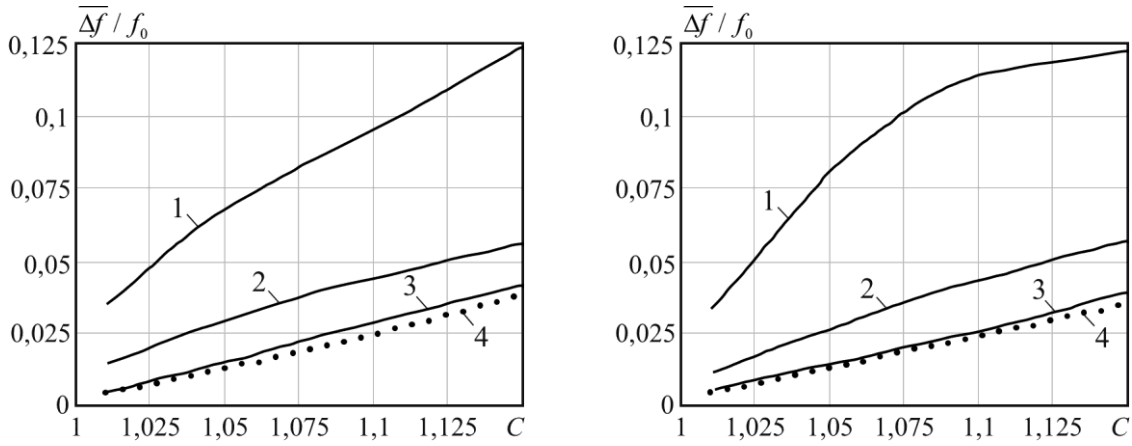
Рисунок. 6. Зависимости относительного МО ширины области ОО от ОСШ для ЛР



а б

а – результаты моделирования; б – сглаженные зависимости

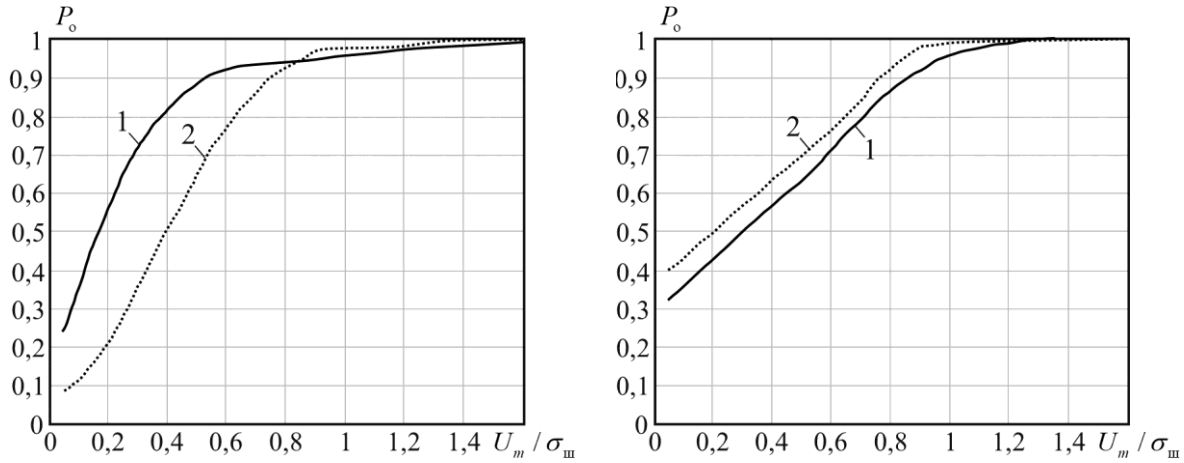
Рисунок. 7. Зависимости относительного значения МО ширины области ОО от ОСШ для РФУ



а б

а – ЛР работы ПФ; б – РФУ

Рисунок. 8. Зависимости относительного значения МО ширины области ОО от ПК



а б

а – для ПК $C = 1,05$; б – для ПК $C = 1,15$

Рисунок. 9. Зависимости вероятности обнаружения максимума сигнала в области ОО от ОСШ

Сопоставление кривых на рисунках 9а и 9б, полученных для различных фиксированных значений C, показывает, что при малых ОСШ $U_m / \sigma_ш < 1$ для ЛР ПФ (кривые 1) действие шума сильнее сказывается на расширении области обнаружения (рисунок 8), чем увеличение ПК. Поэтому вероятность попадания максимума сигнала в фиксированную область выше. Для РФУ (кривые 2) этот фактор не проявляется и вероятность растет с увеличением ПК.

При ОСШ $U_m / \sigma_ш \geq 1$ вероятность попадания максимума сигнала в область оценивания становится практически достоверным событием для любого режима и рабочих значений ПК. При этом РФУ предпочтительнее ЛР (кривые 2 по сравнению с кривыми 1).

Сравнение поведения вероятностей в ЛР и РФУ в зависимости от ОСШ для двух фиксированных значений ПК более наглядно представлено на рисунке 10, где цифрами обозначены зависимости: 1 – для ПК $C = 1,05$; 2 – для ПК $C = 1,15$.

Зависимости вероятности для ЛР и РФУ на рисунках 10а и 10б, по сути, подтверждают сделанные ранее выводы по результатам, показанным на рисунке 8, что весьма важно с точки зрения оценки эффективности РФУ.

Результаты исследования, полученные для квазинепрерывного гармонического сигнала, полностью подтверждаются для случая использования импульсного сигнала. Различие заключается в том, что вероятность попадания

максимума сигнала в соответствующую пороговому коэффициенту область оценивания как достоверное событие начинается при ОСШ $U_m / \sigma_ш \geq 5...7$.

Результаты исследования СКО измерения частоты представлены на рисунках 11 и 12. Оценка частоты производилась по максимуму сигнала в полосе ОО. Значения полосы определялись по результатам моделирования работы схемы для выбранного режима и ПК. Частота оценивалась относительно номинального значения, соответствующего равносигнальному уровню в отсутствие шума на входе схемы. В качестве исследуемого сигнала использовалась аддитивная смесь гармонического квазинепрерывного полезного сигнала и нормально распределенного шума, как и в случае оценки вероятности. Значение ошибки нормировалось к номинальному значению частоты f_0, соответствующему равносигнальному уровню.

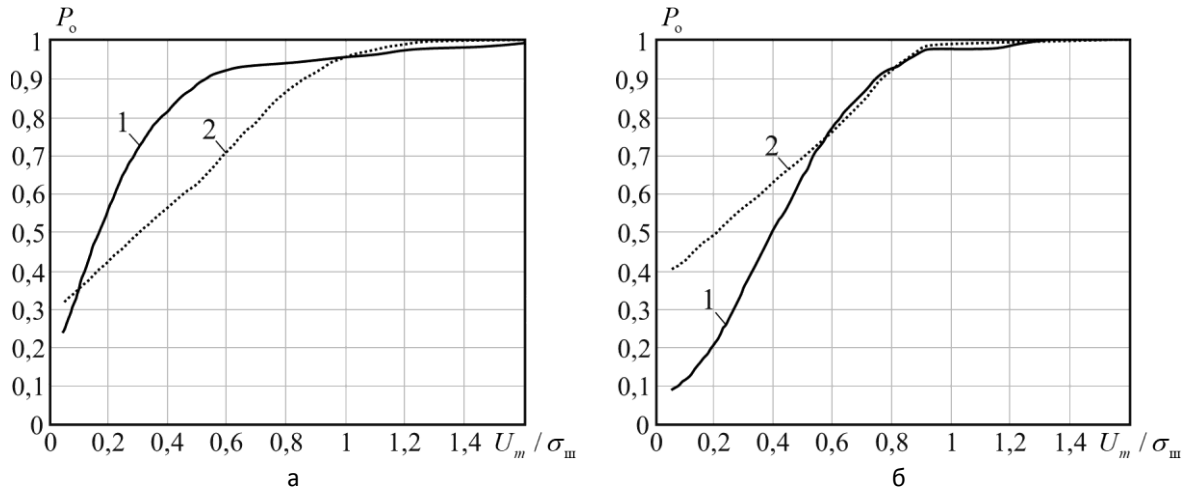
На рисунке 11 показаны зависимости СКО измерения частоты от ОСШ при различных фиксированных значениях ПК C и режимах работы ПФ. На рисунке обозначены зависимости: 1 – для ЛР работы ПФ; 2 – для РФУ.

Анализ зависимостей показывает, что для малых ОСШ $U_m / \sigma_ш \leq 1$ ЛР ПФ обеспечивает более высокую точность оценки, чем РФУ. При этом для отношений $U_m / \sigma_ш \leq 1,8$ в любом режиме большее значение ПК C связано с большей ошибкой измерения, что объясняется расширением области оценивания. Для отношений $U_m / \sigma_ш \sim 2...3$ ошибка составляет не более 0,2 %, уменьшаясь на два порядка для $U_m / \sigma_ш \sim 10$, и стремится к нулю при дальнейшем увеличении ОСШ.

Для сравнения поведения СКО измерения частоты в ЛР и РФУ в зависимости от ОСШ для двух фиксированных значений ПК могут быть использованы результаты моделирования, представленные на рисунке 12, где обозначены зависимости: 1 – для ПК $C = 1,05$; 2 – для ПК $C = 1,15$.

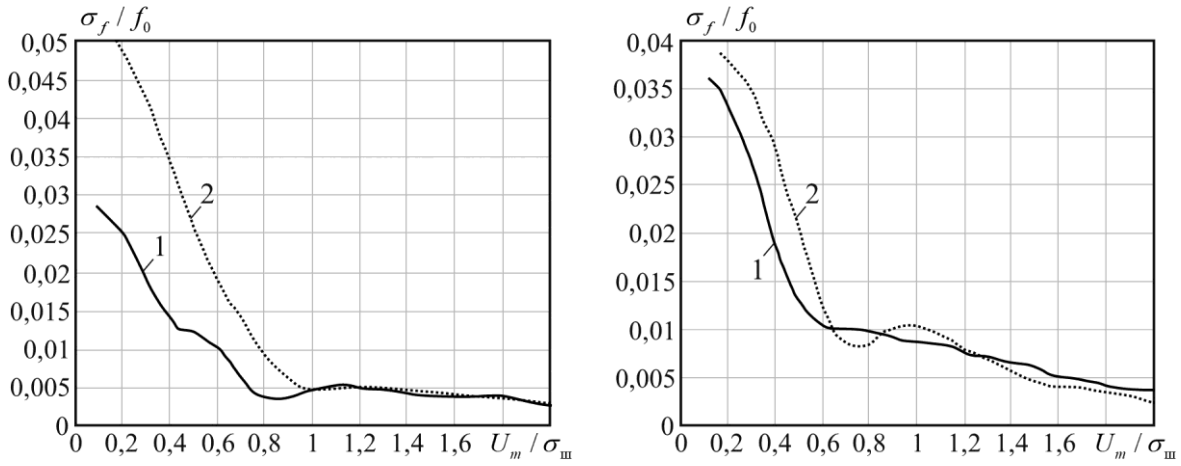
Данные зависимости СКО для ЛР и РФУ подтверждают сделанные ранее выводы по результатам, показанным на рисунке 11. Кроме того, из сравнения поведения кривых на рисунках 12а и 12б, ход которых ограничивается отношением $U_m / \sigma_ш \leq 2$, и результатов моделирования для $U_m / \sigma_ш > 2$ следует весьма важный вывод о том, что РФУ обеспечивает относительно небольшой, но все же выигрыш в точности оценки частоты, по сравнению с ЛР.

Приведенные на рисунках 9–12 зависимости для вероятности и ошибки измерения для более детального анализа намеренно ограничены значением ОСШ $U_m / \sigma_ш \leq 2$. Для больших отношений зависимости имеют монотонный характер и не представляют интереса, поэтому указаны лишь точечные оценки.



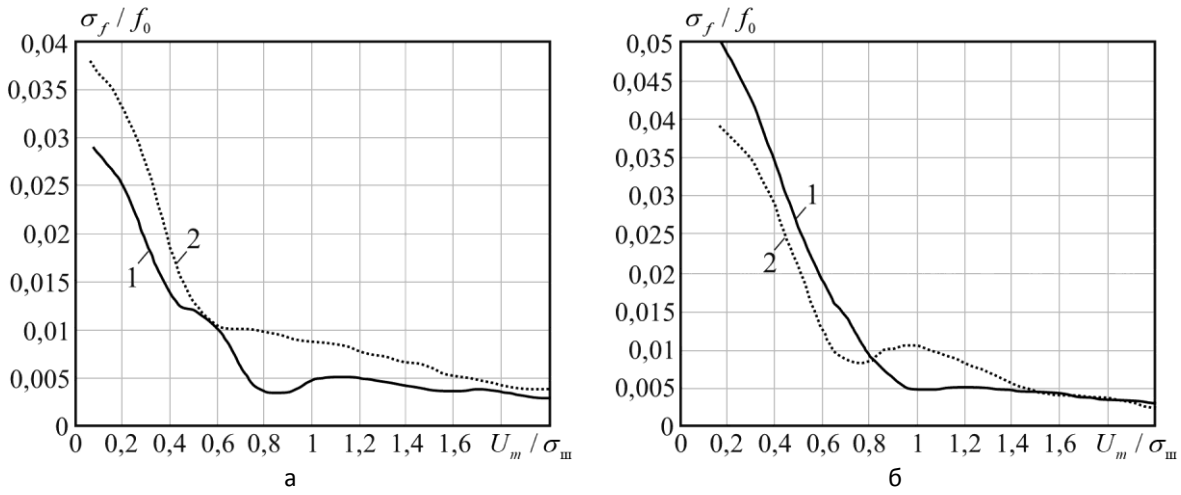
а – для ЛР работы ПФ; б – для РФУ

Рисунок. 10. Зависимости вероятности попадания максимума сигнала в фиксированную область ОО от ОСШ



а – для ПК $C = 1,05$; б – для ПК $C = 1,15$

Рисунок. 11. Зависимости СКО измерения частоты от ОСШ



а – для ЛР работы ПФ; б – для РФУ

Рисунок. 12. Зависимости СКО измерения частоты от ОСШ

Выводы

Подтверждается выигрыш в уменьшении ширины области обнаружения-оценивания частоты сигнала в предлагаемом способе по сравнению с прототипом при одновременном сохранении большей энергии сигнала.

Реализация полосовых фильтров на процедуре пересечения позволяет реализовать режим функциональной устойчивости схемы формирования области обнаружения-оценивания, обеспечивая выигрыш в точности оценки частоты по сравнению с линейным режимом.

Полученные в ходе работы зависимости наряду с граничными оценками позволяют проводить обоснованный выбор параметров элементов схемы формирования области обнаружения-оценивания частоты сигнала. iea

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Егоров Н.П., Кочемасов В.Н. Мгновенное измерение частоты: методы и средства // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2017. – № 5. – С. 136–141.
2. Питолин В.М., Кравцов Е.В., Пашук М.Ф., Стадников М.Д. Способ оценки помехоустойчивости систем радиомониторинга // Вестник ВГТУ. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 64–68.
3. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 640 с.
4. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. – М.: Вузовская книга, 2003. – 528 с.

5. Кравцов Е.В., Лихоманов М.О., Рюмшин Р.И. Способ повышения точности измерения частоты сигнала на основе совместного применения процедур пересечения и объединения // Телекоммуникации. – 2020. – № 5. – С. 28–32.
6. Гордиенко В.И., Дубровский С.Е., Рюмшин Р.И., Фенев Д.В. Универсальный многофункциональный структурный элемент систем обработки информации // Радиоэлектроника. Изв. ВУЗов – 1998. – № 3. – С. 12–20.
7. Болкунов А.А., Кравцов Е.В., Рюмшин Р.И. Исследование способа повышения функциональной устойчивости полосового нерекурсивного фильтра на процедуре пересечения // Телекоммуникации. – 2018. – № 2. – С. 17–22.
8. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. Пособие для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др. : Под ред. К.А. Самойло. – М.: Радио и связь, 1982. – 528 с.

STATISTICAL ESTIMATES OF THE SCHEME FOR THE FORMATION OF THE DETECTION-ESTIMATION REGION OF THE SIGNAL FREQUENCY BASED ON THE INTERSECTION AND UNION PROCEDURES

Dudarikov Oleg Nikolaevich, VUNC VVS "VVA named after prof. NOT. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin ", Voronezh
Kravtsov Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor - VUNC VVS "VVA named after prof. NOT. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin ", Voronezh
Likhomanov Mikhail Olegovich, VUNC VVS "VVA named after prof. NOT. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin ", Voronezh
Mistrov Leonid Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, VUNC VVS "VVA named after prof. NOT. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin ", the Central branch of the RSUE, Voronezh

The efficiency of the scheme for the formation of the detection-estimation region of the signal frequency is shown on the basis of the combined application of the intersection and merging procedures. Dependencies are obtained that allow to reasonably choose the parameters of the circuit elements. Based on statistical evaluations of processing an additive mixture of continuous signal and noise, impulse signal and noise, the boundary values of the signal-to-noise ratio are determined, which make it possible to obtain reliable estimates. The advantage of the functional stability mode in providing noise immunity and frequency estimation accuracy over the linear mode is shown. It is concluded that the gain in reducing the width of the detection-estimation region of the signal frequency in the proposed method compared to the prototype is confirmed, while maintaining a greater signal energy. The implementation of bandpass filters on the intersection procedure makes it possible to implement the mode of functional stability of the detection-estimation region formation circuit, providing a gain in the frequency estimation accuracy compared to the linear mode. The dependences obtained in the course of the work, along with the boundary estimates, make it possible to carry out a reasonable choice of the parameters of the circuit elements for the formation of the detection-estimation region of the signal frequency
Keywords: frequency detection-estimation, functional stability, radio monitoring.

REFERENCES:

1. Yegorov N.P., Kochemasov V.N. Mgnovennoye izmereniye chastoty: metody i sredstva [*Instant frequency measurement: methods and means*] // Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes [*Electronics: Science, Technology, Business*]. – 2017. – № 5. – p. 136–141.
2. Pitolin V.M., Kravtsov Ye.V., Pashuk M.F., Stadnikov M.D. Sposob otsenki pomekhoustoychivosti sistem radiomonitoringa [*A method for evaluating the noise immunity of radio monitoring systems*] // Vestnik VGTU [*Vestnik VSTU*]. – 2015. – T. 11, № 2. – p. 64–68.
3. Rembovskiy A.M., Ashikhmin A.V., Koz'min V.A. Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva [*Radiomonitoring: tasks, methods, means*] / Pod red. A.M. Rembovskogo. – 3-ye izd., pererab. i dop. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2012. – 640 p.
4. Kupriyanov A.I., Sakharov A.V. Radioelektronnyye sistemy v informatsionnom konflikte [*Electronic systems in information conflict*]. – M.: Vuzovskaya kniga, 2003. – 528 p.
5. Kravtsov Ye.V., Likhomanov M.O., Ryumshin R.I. Sposob povysheniya tochnosti izmereniya chastoty signala na osnove sovmestnogo primeneniya protsedur peresecheniya i ob"yedineniya [*A method for increasing the accuracy of measuring the signal frequency based on the combined use of intersection and merging procedures*] // Telekommunikatsii [*Telecommunications*]. – 2020. – № 5. – p. 28–32.

6. Gordiyenko V.I., Dubrovskiy S.Ye., Ryumshin R.I., Fenev D.V. Universal'nyy mnogofunktsional'nyy strukturnyy element sistem obrabotki informatsii [*Universal multifunctional structural element of information processing systems*] // Radioelektronika. Izv. VUZov [*Radioelectronics. Izv. Universities*] – 1998. – № 3. – p. 12–20.
7. Bolkunov A.A., Kravtsov Ye.V., Ryumshin R.I. Issledovaniye sposoba povysheniya funktsional'noy ustoychivosti polosovogo nerekursivnogo fil'tra na protsedure peresecheniya [*Investigation of a method for increasing the functional stability of a band-pass non-recursive filter on the intersection procedure*] // Telekommunikatsii [*Telecommunications*]. – 2018. – № 2. – p. 17–22.
8. Radiotekhnicheskiye tsepi i signaly: Ucheb. Posobiye dlya vuzov [*Radio circuits and signals: Textbook. Manual for universities*] / D.V. Vasil'yev, M.R. Vitol', YU.N. Gorshenkov i dr. : Pod red. K.A. Samoylo. – M.: Radio i svyaz', 1982. – 528 p.

При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:
Герасимова Е.Б., Герасимов Б.И., Евсейчев А.И. Качество труда: феноменология экономического анализа // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 5. (57). С. 18-23

УДК 004.42

КАЧЕСТВО ТРУДА: ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Герасимова Е.Б., Герасимов Б.И., Евсейчев А.И.

В статье установлены парадигмы качества труда в институциональной среде экономического института. Отмечается, что ядром феноменологического пространства (поля) феноменов экономического анализа деятельности хозяйствующих субъектов (экономических институтов) выступает феноменологическое подпространство феноменов производительности труда. При этом каждый феномен феноменологического поля экономического анализа идентифицируется по критерию качества как объект расслоенного экономического пространства Минковского, отображенный в нейронной сети индивидуума как человека качества. Делается акцент на том, что концепты аналитической философии положенные в основу феноменологии экономического анализа экономических институтов, доверительно выявляют и выделяют гармонизированные утверждения устойчивого состояния функционирования парадигм качества труда.

Ключевые слова: качество, труд, феноменология, анализ, эффективность, производительность труда.

Ядром феноменологического пространства (поля) феноменов экономического анализа деятельности хозяйствующих субъектов (экономических институтов) [1] выступает феноменологическое подпространство феноменов производительности труда (рисунок 1).

При этом каждый феномен феноменологического поля экономического анализа идентифицируется по критерию качества как объект расслоенного экономического пространства Минковского [2], отображенный в

Герасимова Елена Борисовна, доктор экономических наук, профессор ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»
Москва
Герасимов Борис Иванович, доктор экономических наук, доктор технических наук, профессор, Почетный профессор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
Тамбов
Евсейчев Анатолий Игоревич, кандидат экономических наук, директор автономной некоммерческой организации «Региональный центр финансовой грамотности»
Тамбов