

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ МОНИТОРИНГА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Раков В.И.<sup>1</sup>, Соловьев А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орёл, Россия (302020, г. Орёл, Наугорское шоссе 29), E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto:unpk@ostu.ru)

---

Предложена методика оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты (УНЧ), основанная на сравнении текущих и эталонных функций преобразования. Практическая реализация сформулированной методики фактически направлена на выявление возможных отклонений показателей функционирования УНЧ от нормы и тенденций развития этих отклонений. Разработанная система моделирования, реализованная на базе аппаратно-программной платформе, является универсальным средством проверки применимости процесса оценки качества функционирования для широкого класса усилительных устройств различного функционального назначения. Получены результаты моделирования функционирования усилителя низкой частоты с учетом подключения измерительного прибора, при влиянии на функционирование УНЧ неисправностей, температуры окружающей среды и напряжения питания.

---

Ключевые слова: усилитель, качество функционирования

## TECHNIQUE OF MODELLING AND OPERATIONAL ASSESSMENT QUALITIES OF FUNCTIONING OF AMPLIFIERS OF THE LOW FREQUENCIES IN TECHNOLOGICAL PROCESS MONITORING OF THE RADIO-ELECTRONIC SITUATION

Rakov V.I.<sup>1</sup>, Solovev A.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Federal State Budgetal Higher Education Professional Institution «State University – Education-Scientific-Production Complex» (State University ESPC), 302020, Orel, Highway Naugorskoe, 29 E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto:unpk@ostu.ru)

---

The technique of an operational assessment of quality of functioning of the amplifiers of low frequency (ALF), based on comparison of the current and reference functions of transformation is offered. Practical realization of the formulated technique is actually directed on identification of possible deviations of indicators of functioning of UNCh from norm and tendencies of development of these deviations. The developed system of modeling realized on the basis of a hardware-software platform, is a universal remedy of check of applicability of process of an assessment of quality of functioning for a wide class of intensifying devices of various functional purpose. Results of modeling of functioning of the amplifier of low frequency taking into account connection of the measuring device are received, at influence on functioning of UNCh of malfunctions, ambient temperatures and supply voltages.

---

Keywords: amplifier, quality of functioning

Под радиоэлектронной обстановкой (РЭО) понимают совокупность условий, факторов и данных, характеризующих положение, состояние, назначение, возможности и характер действий радиоэлектронных средств (РЭС) и систем управления войсками (силами), оружием, объектами экономики и инфраструктуры страны, радиоэлектронной разведки и радиоэлектронной борьбы (РЭБ), а также параметры различных излучений искусственного и естественного происхождения в заданном районе в определенное время. РЭО включает характеристики РЭС, систем управления и связи как своих войск (сил), так и противника, излучения и условия распространения электромагнитных волн, состояния радиолокационной, тепловой и оптической контрастности местности и объектов, состояния атмосферы и гидрологию [5].

Технологический процесс мониторинга радиоэлектронной обстановки (радиомониторинга) имеет существенно важное значение не только в военном деле [4], но и в смежных вопросах охраны газопроводов, нефтепроводов, в системах управления движением морским транспортом, защиты объектов и территорий от терроризма, предупреждения техногенных ситуаций, а также при проведении текущего технического радиоконтроля.

Структура радиомониторинга включает центральный пункт управления и региональные или местные подсистемы (станции) радиомониторинга (радиоконтроля), замыкающиеся на него. В центральном пункте управления осуществляется сбор получаемой информации о наземной или подводной обстановке в реальном масштабе времени, идентификация источников излучений; проверка соответствия характеристик и параметров излучения требованиям норм и разрешений; обобщение, хранение информации, анализ и формирования целеуказаний.

Технологический процесс мониторинга радиоэлектронной обстановки в центральном пункте управления представляется 4-мя территориально-распределенными участками: 1) участком антенных систем; 2) участком приёмных устройств; 3) участком обработки по демодуляции и декодирования сигналов; 4) участком доставки - анализа и формирования информационных отчетов. Этот процесс характеризуется функциональной и структурной распределенностью, а к показателям оценки качества относят время получения информационного отчета, время фиксирования отклонений от требуемого функционирования, организации процесса принятия решений, принятие и исполнение решения по восстановлению требуемого функционирования. В связи с этим разработка любых методик и рекомендаций, направленных на снижение времени получения отчетов и сокращение времени фиксирования отклонений от требуемого функционирования и последующего восстановления, является научно необходимым и технически целесообразным мероприятием.

Показатели качества существенно зависят от функционирования оборудования на всех участках данного технологического процесса. Несмотря на то, что современные технические средства систем радиомониторинга прошли путь от первых отечественных довоенных тепlopеленгаторов, работающих в инфракрасном спектре частот, и радиолокационных станции сантиметрового диапазона волн типа «Позитив» с собственной системой обработки информации до комплексных высокоавтоматизированных систем «Титанит» (1973 г), «Монолит» (1986 г) [1], бортовых и наземных комплексов мониторинга радиоэлектронной обстановки ОАО НПО «Орион» и автоматизированных систем частотного планирования [3,9], в процессах мониторинга радиоэлектронной обстановки остаются участки, не подверженные достаточной автоматизации, то есть с весомым участием человека в технологическом процессе.

Несмотря на важность всех отмеченных участков и компонентов технологического процесса, наиболее чувствительным по временным показателям остаётся участок приемных устройств, основу которого образуют модули, состоящие из фильтров, детекторов, коммутаторов и усилителей. При этом усилители низкой частоты (УНЧ) фактически обуславливают требуемое функционирование участка и достоверность результирующих сигналов. Поэтому традиционно функция оценки работоспособности УНЧ возложена на человека-оператора, т.е. существенно важной функцией оперативного персонала является оценка работоспособности или, в частности, оценка качества текущего функционирования усилителей низкой частоты по результатам наблюдений за многочисленными параметрами каждого УНЧ.

Именно такое участие человека, его реагирование на фиксируемые отклонения работы аппаратуры УНЧ от требуемого функционирования так или иначе вносит наиболее существенную задержку во всю обработку информации в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки. Поэтому сокращение времени реагирования на фиксируемые отклонения от требуемого функционирования и тем самым повышение скорости функционирования второго участка технологического процесса, является актуальной задачей.

В работе предложена методика оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки, фактически позволяющая формализовать весь процесс оценки качества.

### **Идея выражения оперативной оценки качества функционирования**

Следуя представлениям теории системного анализа [7, С. 128], как бы ни определялись объект и его среда, на протяжении всего «цикла» жизнедеятельности сложного объекта реален факт того, что организация его требуемого функционирования ведется исключительно в условиях отсутствия полноты знаний о нём. Практика показывает, что эти обстоятельства не являются чем-то исключительным. Для выхода из конкретной проблемной ситуации требуются не столько исчерпывающие знания об объекте, сколько такие адекватные данной конкретной обстановке представления, которые позволили бы восстановить требуемое функционирование сложной системы.

Изначально объект ( $S$ ) видится не сложным, а скорее цельным, как бы одноэлементным ( $a$ ) и изолированным и тем самым структурно наиболее простым: есть среда, в которой, оказывается, существует островок (один элемент  $a$ ) под названием явление (объект, процесс):  $S = \{a\}$ . Узнавание объекта непременно ведёт к пониманию отличий между подобными явлениями по признакам того, как среда воздействует на явление и как явление реагирует на воздействия среды (или наоборот). Здесь не только, по сути, усложняется классификационный признак, но и усложняются представления о структуре изучаемого объекта: в них

добавляются некие отношения среда-объект ( $R_{c-o}^i$ ) и отношения объект-среда ( $R_{o-c}^j$ ). Теперь объект представляется и тем самым классифицируется в среде по многим признакам, отражающим элемент и отношения со средой.

Возникает последовательность структур изучаемого объекта:

$$S = \{a\}; S = \{R_{c-o}^i, a\}; S = \{a, R_{o-c}^j\}; S = \{R_{c-o}^i, a, R_{o-c}^j\}. \quad (1)$$

Возможно, это наиболее простой этап исследования объекта, когда объект ( $S$ ) представляется так называемым «черным ящиком». Дальнейшие шаги детализации структуры объекта и структуризации отношений с внешним миром (объекта) связаны с исследованием конкретных влияний объекта на среду и его функционированием в ней и ведёт уже не к последовательности (1), а, скорее, к ряду структур, порождающихся и детализацией, и структуризацией реальных отношений:

$$\begin{aligned} \{ S_1 = \{a\}; S_2 = \{R_{c-o}^i, a\}; S_3 = \{a, R_{o-c}^j\}; \\ S_i = \{r_1^{i,c-o} r_2^{i,c-o} \dots r_{k_i}^{i,c-o}, a, r_1^{i,o-c} r_2^{i,o-c} \dots r_{m_i}^{i,o-c}\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $r_1^{i,c-o}, r_2^{i,c-o}, \dots, r_{k_i}^{i,c-o}$  – различные отношения «среда-объект» и «объект-среда» соответственно,  $k_i, m_i < \infty$ .

Выражение оперативной оценки качества функционирования. Соотношение (2) необходимо, прежде всего, для понимания степени организованности изучаемой системы и это достигается, с одной стороны, фиксированием закономерностей и классификаций того, как влияет объект на свою среду, а, с другой, - детализацией представлений о структуре объекта посредством определения самого объекта (системы), но определением его в конкретной (реальной) представляемой среде.

Другими словами, «отграничение среды» порождает ряды реальных структур типа (2) исследуемого объекта, в котором отграничение, по существу, проводится посредством фиксирования закономерностей влияния объекта на свою среду и определения морфологических признаков сложного объекта, существенных в разных обстоятельствах. Это системное положение указывает на возможность введения различных оперативных оценок качества функционирования каждой реальной структурной композиции (реального образа):

$$S_i = \{r_1^{i,c-o} r_2^{i,c-o} \dots r_{k_i}^{i,c-o}, a, r_1^{i,o-c} r_2^{i,o-c} \dots r_{m_i}^{i,o-c}\} (i = 4, 5, \dots) \quad (3)$$

при условии наличия представлений об эталонном (идеальном) состоянии (образе) каждой композиции (3):

$$S_{i,\varepsilon} = \{r_{1,\varepsilon}^{i,c-o} r_{2,\varepsilon}^{i,c-o} \dots r_{k_i,\varepsilon}^{i,c-o}, a, r_{1,\varepsilon}^{i,o-c} r_{2,\varepsilon}^{i,o-c} \dots r_{m_i,\varepsilon}^{i,o-c}\} (i = 4, 5, \dots), \quad (4)$$

где индекс « $\varepsilon$ » указывает на идеальность отображённой сущности.

Тогда введение некоторой метрики  $\rho(S_i, S_{i,\varepsilon})$  по выражению близости между реальными  $S_i$  и эталонными  $S_{i,\varepsilon}$  структурами и критерия качества функционирования в виде формальной модели  $\Omega(S_i, S_{i,\varepsilon})$  предельных отличий между реальными  $S_i$  и эталонными  $S_{i,\varepsilon}$  структурами может рассматриваться как основа для построения оперативной оценки качества функционирования:

$$\rho(S_i, S_{i,\varepsilon}) \subseteq \Omega(S_i, S_{i,\varepsilon}), \quad (5)$$

где символ « $\subseteq$ » означает включение множества  $\rho(S_i, S_{i,\varepsilon})$  в множество  $\Omega(S_i, S_{i,\varepsilon})$ .

Естественность построения и понимания оперативной оценки качества функционирования в виде представления (5) не обуславливает понимание функциональной содержательности структур  $S_i$  и  $S_{i,\varepsilon}$  и не указывает на приемлемые для этих целей характеристики.

### **Выразительная сущность функциональной содержательности структур $S_i$ и $S_{i,\varepsilon}$ .**

Структуры можно задавать по-разному. Разное формальное представление будет вести к разным результатам оперативной оценки качества функционирования соответствующих структур (5). И при этом неочевидна полнота или даже объективность оценок.

Однако поскольку оценка качества функционирования должна отражать именно *предельные отличия*  $\Omega(S_i, S_{i,\varepsilon})$  между реальными  $S_i$  и эталонными  $S_{i,\varepsilon}$  структурами, то функциональную содержательность структур  $S_i$  и  $S_{i,\varepsilon}$  надо определять, исходя из закономерностей осуществимости систем [8] и, в частности, закономерности эквивиальности (Л. фон Берталанфи [2]) как способности устройства (системы) достигать независящего от времени состояния, которое не зависит от ее исходных условий и определяется исключительно параметрами системы.

Применительно к функционированию усилителей низкой частоты можно констатировать два важных момента. *Во-первых*, эквивиальность намечает тот момент времени, когда УНЧ прекращает быть преобразователем, то есть перестаёт отрабатывать своё предназначение, «погружаясь» в независящие от времени, входных сигналов и исходных условий состояния. *Во-вторых*, такой переход УНЧ из преобразователя в «не преобразователь», не может произойти скачкообразно.

Отсюда следует, что изображение структур в соотношении (5) должно представляться *непрерывными целевыми функциями* УНЧ, к которым можно отнести коэффициенты усиления по мощности, напряжению и току, напряжение на выходе усилителя, коэффициенты гармоник и нелинейных искажений, амплитудно-частотные и амплитудные характеристики,

уровни шумов, динамические и рабочие диапазоны частот, коэффициент шума и переходную характеристику и т.д.

### **Методика оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты**

Для улучшения показателей качества функционирования усилителей низкой частоты (УНЧ) в технологическом процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки важную роль играет своевременная оценка их состояния для возможности предотвращения не целевого функционирования. Поэтому согласно предложенной идеи (5) и аналогично методологии структурного контроля [6] можно методику оперативной оценки качества функционирования усилителей низкой частоты представить в следующей трактовке:

- 1) в УНЧ выделяются структурные единицы (каскады или усилитель в целом) в соответствии с возможностью регистрации входов и выходов для отработки конкретной целевой функции;
- 2) для каждой структурной единицы определяются и фиксируются исходные функции преобразования, которые относят к эталонным;
- 3) в ходе функционирования УНЧ организуется текущая регистрация и сохранение состояний входа и выхода каждой структурной единицы;
- 4) для каждой структурной единицы строится текущая функция преобразования на основе зафиксированных состояний её входов и выходов;
- 5) проводится сравнение текущей функции преобразования с эталонной и делается заключение (5) о пригодности УНЧ и структурных единиц для дальнейшего обеспечения отработки заданной целевой функции.

В отношении процесса организации оценки качества функционирования усилителей [10] сформулированная методика фактически направлена на выявление возможных отклонений показателей функционирования УНЧ от нормы и выявление возможных тенденций развития этих отклонений. Отслеживая динамику отклонений оцениваемых показателей функционирования, возможно оперативно отслеживать зарождающиеся изменения в структуре УНЧ и получать требуемый методический материал для заблаговременного установления предаварийных ситуаций.

### **Методика моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты**

Сложность измерения текущих целевых показателей усилительных устройств в процессе их функционирования делает актуальной разработку методики моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты на основе создания системы моделирования.

Известно (*Краус М., 1975; Гук М., 2002; Ишков А.С., 2010*), что система моделирования может быть реализована с использованием ЭВМ в комплексе со встраиваемыми в ком-

пьютер платами сбора данных. Такая система моделирования, реализованная на базе аппаратно-программной платформы (рис.1), может являться универсальным средством проверки применимости процесса оценки качества функционирования для широкого класса усилительных устройств различного функционального назначения.

Этапы методики моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты, основанные на сравнении текущих функций преобразования с эталонными, схематично представлены на рисунке 2 и отличаются совместным использованием аппаратных средств и программных функций. Аппаратные средства моделирования позволяют снабжать УНЧ экспериментальными данными, а программные средства – задавать математическую модель УНЧ для оценки качества его функционирования.

Полученные результаты моделирования процесса функционирования усилителей по схеме на рисунке 3 показали зависимость выбранной текущей функции преобразования УНЧ (коэффициента усиления –  $K$ ) от неисправностей усилителя и при воздействии на УНЧ различных факторов окружающей среды (рис. 4).

Так, из графиков видно, что установка порогов оценки качества функционирования УНЧ путем задания математической модели усилителя позволяет компенсировать существующую инструментальную погрешность, возникающую при подключении усилителя к системе моделирования (рис. 6а), допустимая температура окружающей среды для правильного функционирования УНЧ составляет от – 51 до 94 °С (рис. 6б), а допустимое значение напряжений питания соответствует диапазону 18,5 В до 9,3 В (рис. 6в). Приведенные на рисунке 6а значения осциллографа оцениваемых параметров для УНЧ при различных неисправностях могут быть использованы в качестве базы диагностических параметров при поиске места отказа УНЧ.

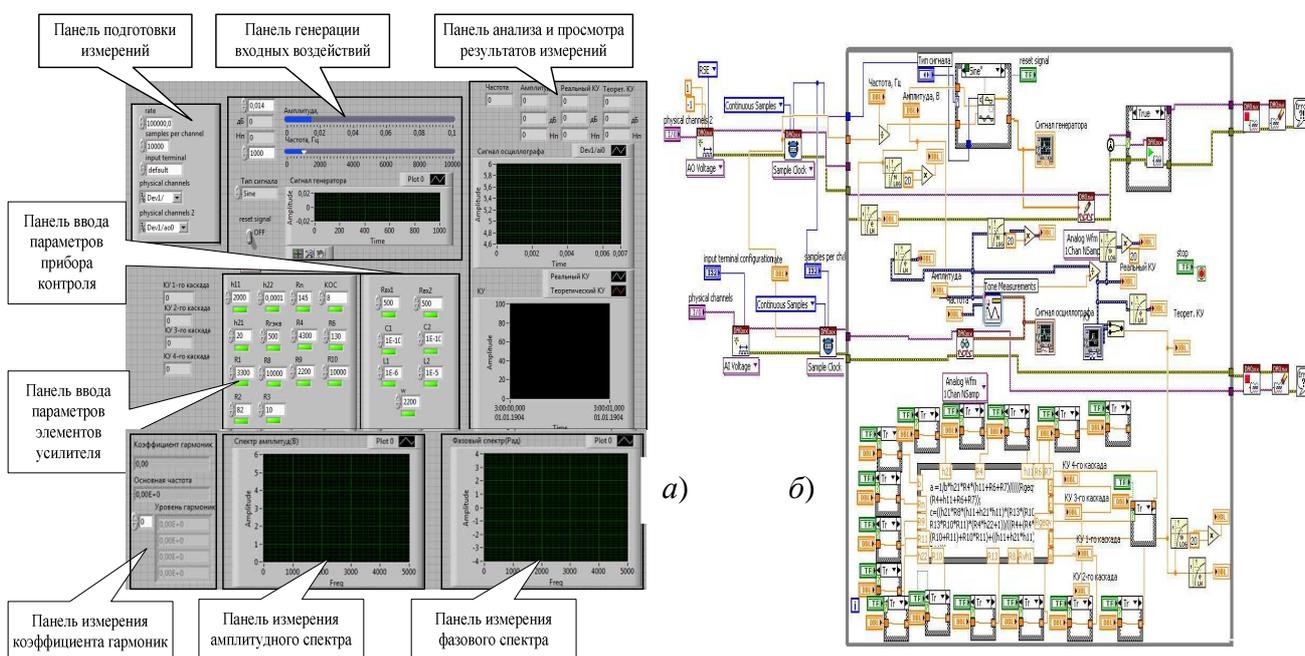


Рисунок 1 – Программная реализация системы моделирования процесса функционирования усилителей: а) лицевая панель; б) подпрограмма для измерения коэффициента усиления по напряжению

Таким образом, разработанная методика моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты, основанная на методике оперативной оценки качества функционирования, позволяет формализовать весь процесс оценки качества.

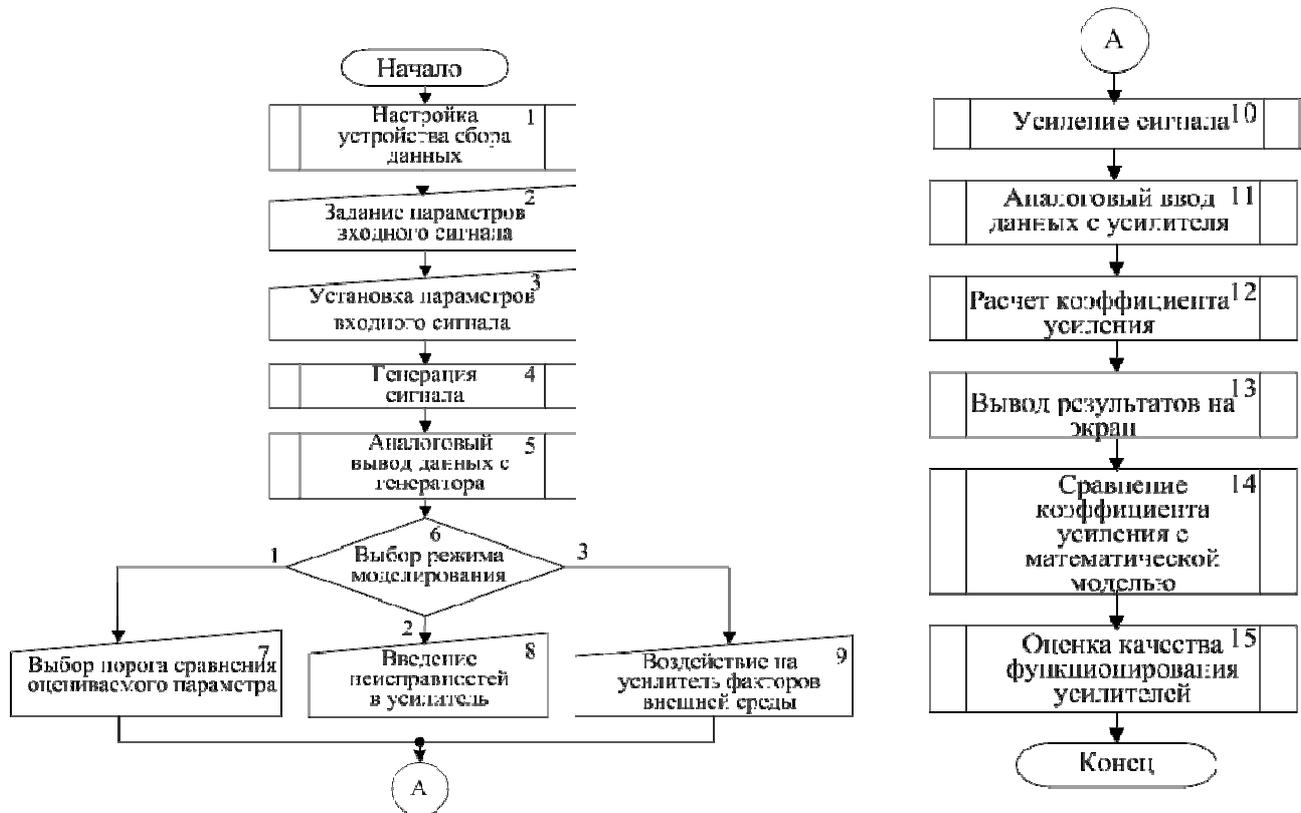


Рисунок 2 – Основные этапы методики моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты

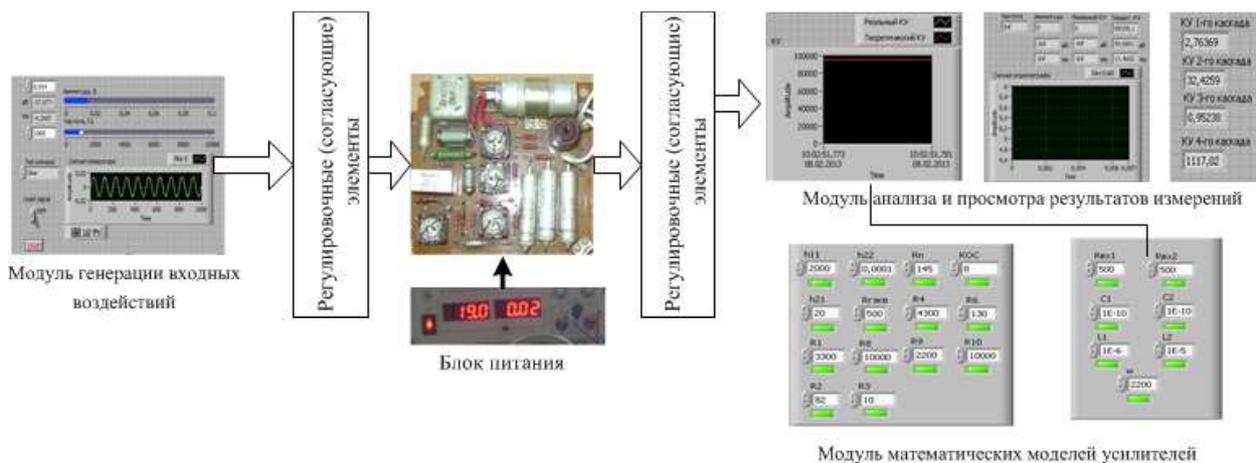


Рисунок 3 – Основные этапы методики моделирования процесса функционирования усилителя низкой частоты

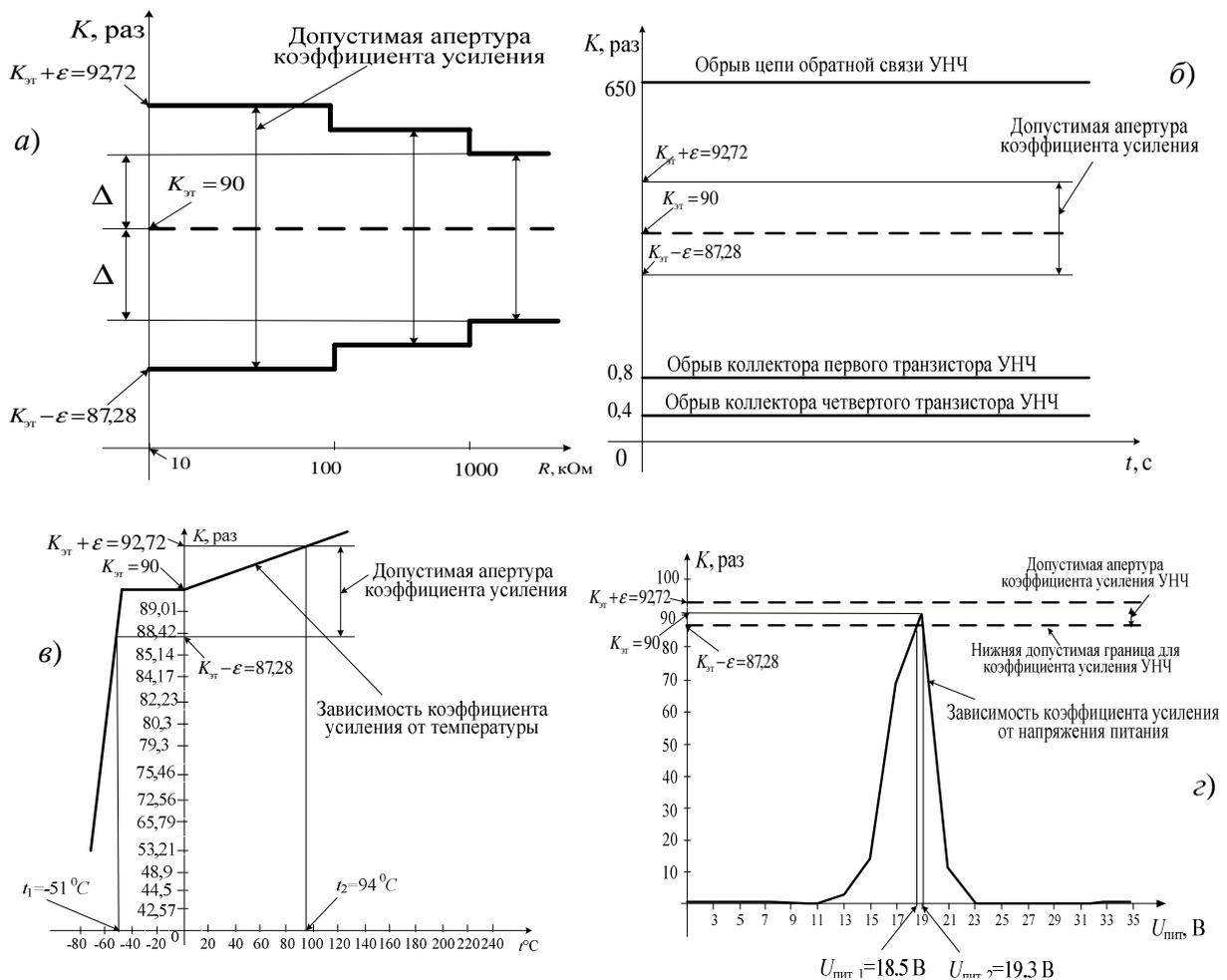


Рисунок 4 – Результаты моделирования, где: а) установка порогов оценки качества; б) влияние на функционирование УНЧ неисправностей; в) влияние на функционирования УНЧ температуры окружающей среды; г) влияние на качество функционирования УНЧ напряжения питания

### Список литературы

1. Баскаков Г.С. Радиоэлектронные средства освещения надводной и воздушной обстановки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flot.com/science/rv1.htm>.
2. Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – 520 с.
3. ОАО НПО «Орион» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://оао-про-орion.jimdo.com/>.
4. Радиоэлектронная борьба и ее назначение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://projectrussia.info/?p=100.html> (дата обращения 30.12.2013).
5. Радиоэлектронная обстановка / Словарь чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/emergency/>.

6. Раков В.И. О структурном контроле технических средств управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2005. – №. 12. – С. 40-47.
7. Раков В.И. Системный анализ (начальные понятия): учебное пособие. – М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. – 240 с.
8. Системный анализ в экономике и организации производства / Под общей ред. С.А. Валueva, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.
9. Слободянюк П. В. Современные тенденции развития радиочастотного мониторинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/140/18.php>.
10. Соловьев А. М. О математической модели структурного контроля аппаратуры каналообразования // Информационные системы и технологии, 2012, № 3. – С. 56 – 68.

**Рецензенты:**

Еременко В.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность» (ЭВТИБ) ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г.Орёл.

Подмастерьев К.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г.Орёл.