



Международный союз электросвязи
Бюро развития электросвязи

СЕРТИФИКАТ

Настоящим удостоверяется, что

ТОКАРЬ Л.А.

участвовал(а) в Семинаре

**«Радиочастотный мониторинг сегодня и завтра. Задачи, проблемы и
решения»,**

организованном МСЭ/БРЭ совместно с Министерством транспорта и связи Украины и
Украинским государственным центром радиочастот в рамках сети Центра Мастерства
для стран СНГ

Киев, 8-10 июля 2008 г.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Samir Al-Bashir Al-Morshid'.

Сами Аль-Башир Аль-Моршид

Директор БРЭ

10 июля 2008 г.

ITU WORKSHOP

“SPECTRUM MONITORING TODAY AND
TOMORROW. TASKS, PROBLEMS”
AND SOLUTIONS



08 - 10 JULY 2008
KYIV, UKRAINE

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники

Поповский В.В., Коляденко Ю.Ю.,

Токарь Л.А.

**Разработка методики анализа
электромагнитной совместимости
группировок мобильных систем связи**

Отличительные особенности, характеризующие ЭМО в МСС:

- ограниченная энергетика и протяженность радиолиний, множественный случайный характер межэлементных взаимодействий и механизмов этих взаимодействий, влияющих на то, что ЭМО с трудом поддается учету и контролю;
- топология сети СПС характеризуется явно выраженной динамикой и нестационарностью из-за мобильности абонентских станций, а так же кратковременности работы в эфире;
- каналы радиосвязи являются многолучевыми, нестационарными со случайным изменением всех физических параметров;
- выдвигаются все более высокие требования по качеству обслуживания при передаче как речевой, так и мультимедийной информации;
- высокая плотность загрузки выделенных диапазонов частот, случайное положение и размещение групп абонентских станций в пространстве.

Разработка обобщенной математической модели множественных электромагнитных взаимодействий в группировках РЭС МСС

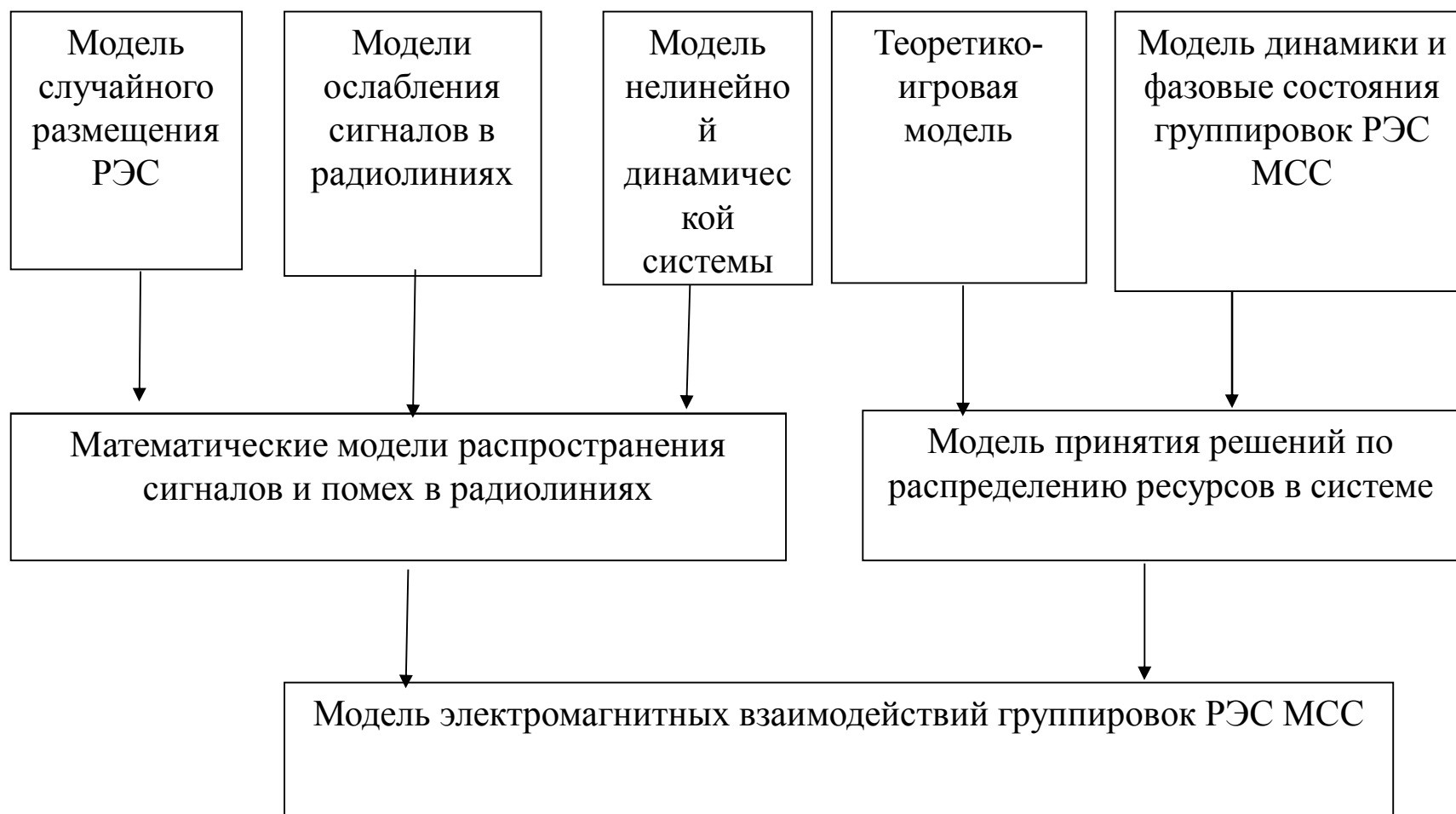


Рис. 1 Структура обобщенной математической модели электромагнитных взаимодействий группировок РЭС МСС

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ В РАДИОЛИНИЯХ

$$P_{np} = P_{nep} + G_{nep} + G_{np} - \eta_{nep} - \eta_{np} - W, \quad (1)$$

где P_{np} - мощность принимаемого сигнала (дБ); P_{nep} - мощность передатчика; G_{nep}, G_{np} - соответственно коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; η_{np}, η_{nep} - коэффициенты полезного действия приемного и передающего фидеров; W - затухания сигнала (помехи) (дБ)

$$W = W_{P3C} + W_{cp}, \quad (2)$$

где W_{P3C} - затухания помехи, определяемые характеристиками РЭС

$$W_{P3C} = W_{P3C}^{(1)}(\Delta f) + W_{P3C}^{(2)} + W_{P3C}^{(3)} + W_{P3C}^{(4)} + W_{P3C}^{(5)}, \quad \text{дБ} \quad (3)$$

где $W_{P3C}^{(1)}(\Delta f)$ - ослабление помехи, определяемые избирательностью приемника по основному каналу $S_{np}(\Delta f)$, шириной спектра основного и внеполосного излучения передатчика и частотным разносом между каналами излучения и приема, дБ; $W_{P3C}^{(2)}$ - ослабление помехи за счет побочного излучения, $W_{P3C}^{(3)}$ - ослабление помехи за счет приема по побочным каналам, $W_{P3C}^{(4)}$ - ослабление помехи при полных частотных несовпадениях помехи с основным и побочными каналами приема (помеха является продуктом нелинейностей радиоприемного тракта); $W_{P3C}^{(5)}$ - ослабление помехи, вызванное различием в поляризации возбуждающего поля и антенны; W_{cp} - ослабление сигнала (помехи), определяемое условиями среды распространения радиоволн.

МОДЕЛИ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА

Для отдельного помещения или здания ослабление сигнала W_{cp} , определяемое условиями среды распространения:

$$W_{cp} = W_{ce} + W_{\partial on}^{(1)} + W_{\partial on}^{(2)} + W_{\partial on}^{(3)}, \text{ дБ} \quad (4)$$

где W_{ce} - затухание в свободном пространстве (дБ) $W_{ce} = 10 \cdot \lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$, d - расстояние между приемником и передатчиком, λ - длина волны, $W_{\partial on}^{(1)}$ - дополнительное затухание, вызванное влиянием стен и перекрытий этажей

$$W_{\partial on}^{(1)} = W_{0c} \cdot N_{cm} \left(\frac{N_{cm} + 2}{N_{cm} + 1} \right)^{-c} + W_{0з} \cdot N_з \left(\frac{N_з + 2}{N_з + 1} \right)^{-c}, \quad (5)$$

где W_{0c} - ослабление за счет влияния стены или межэтажного перекрытия c - коэффициент, N_{cm} - количество стен, $N_з$ - количество межэтажных перекрытий. $W_{\partial on}^{(2)}$ - дополнительные потери энергии сигнала при заполнении пространства различными предметами

$$W_{\partial on}^{(2)} = \delta \cdot d \quad (6)$$

δ - коэффициент погонного затухания, $W_{\partial on}^{(3)}$ - случайная компонента дополнительного затухания

$$W_{\partial on}^{(3)} = W_{ca}^{(м)} + W_{ca}^{(б)}, \quad (7)$$

где $W_{ca}^{(м)}$, $W_{ca}^{(б)}$ - медленные и быстрые случайные замирания.

В условиях использования СПС вне здания

$$W_{cp} = W_{mcp} + \sigma, \quad (8)$$

где W_{mcp} - медианное затухание радиосигналов в зависимости от условий среды распространения (W_z в городе, W_n в пригороде, W_o на открытой местности), дБ;

σ - среднеквадратическое отклонение медленных замираний, дБ.

МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ РЭС

1. Равномерное распределение

$$p(x) = \frac{1}{b-a}, x \in (a,b), \quad (9)$$

где a и b - пределы изменения случайной величины, x - координаты x, y, z .

2. Нормальное распределение

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, x \in (-\infty, \infty), \quad (10)$$

где m и σ математическое ожидание, и среднеквадратическое отклонение соответственно

3. Комбинации распределений.

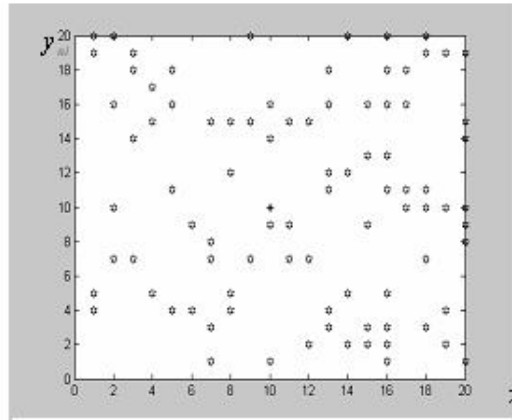


Рис. 2 Равномерное распределение РЭС

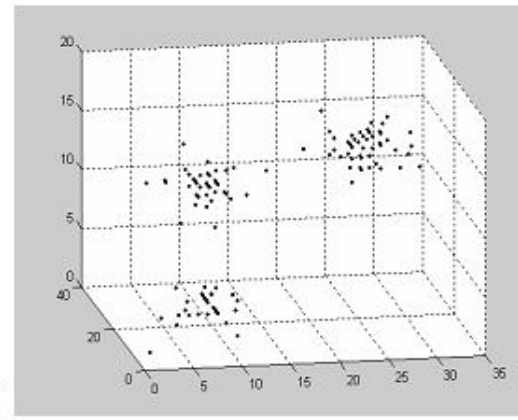


Рис. 3. Комбинации нормального распределения РЭС в пространстве

Расчет расстояния от i -го до j -го элемента.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}. \quad (11)$$

МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (НДС)

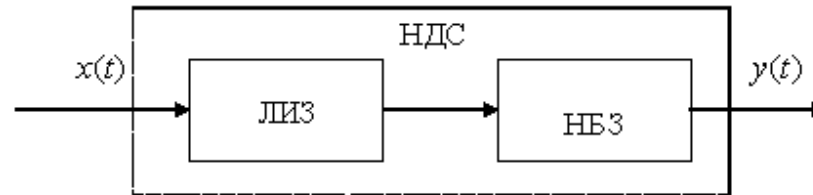


Рис. 4 Структурная схема нелинейной динамической системы

Модель НДС в форме рядов Вольтерра

$$\begin{aligned}
 y(t) &= F\left[\int_0^{\infty} h(t, \tau)x(\tau)d\tau\right] = \sum_{i=1}^N a_i \left[\int_0^{\infty} h(t, \tau)x(\tau)d\tau\right]^i = \sum_{i=1}^N a_i \prod_{j=1}^i \left[\int_0^{\infty} h(t, \tau_j)x(\tau_j)d\tau_j\right] = \sum_{i=1}^N a_i \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \prod_{j=1}^i [h(t, \tau_j)x(\tau_j)] d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_i = \\
 &= \sum_{i=1}^N a_i \int_{\mathbb{R}^i} h(t, \tau_1, \dots, \tau_i) \prod_{j=1}^i [x(\tau_j)] d\nu_{\tau}; \tag{12}
 \end{aligned}$$

где $F(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n$ - функция нелинейного безынерционного звена;

$h(t, \tau)$ - импульсная характеристика линейного инерционного звена;

$x(\tau)$ - входной сигнал.

Модель НДС в форме переменных состояния

Линейная динамическая система (ЛДС) в форме переменных состояния: $\frac{d\vec{x}}{dt} = S(t)\vec{x}(t) + G(t)\vec{u}(t)$, (13); $\vec{y}(t) = C(t)\vec{x}(t)$, (14)

где $\vec{x}(t)$ - вектор переменных состояния; $\vec{u}(t)$ - вектор входных воздействий; $S(t)$ и $G(t)$ - матрицы состояния и возбуждения соответственно; $\vec{y}(t)$ - вектор выходного сигнала; $C(t)$ - матрица выхода; m - порядок ЛДС.

$$\text{НДС } F[z(t)] = \sum_{i=1}^N a_i z^i(t). \quad (15)$$

Нелинейность локализована во входных цепях

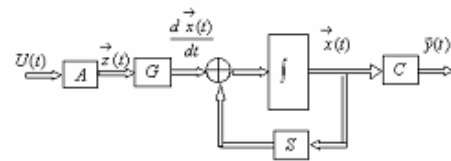


Рис. 5

$$U(t) = \begin{bmatrix} u_1^0(t) & u_2^0(t) & \dots & u_m^0(t) \\ u_1^1(t) & u_2^1(t) & \dots & u_m^1(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_1^n(t) & u_2^n(t) & \dots & u_m^n(t) \end{bmatrix};$$

$$\vec{z}(t) = F[U(t)] = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n a_i u_1^i(t) \\ \sum_{i=0}^n a_i u_2^i(t) \\ \dots \\ \sum_{i=0}^n a_i u_m^i(t) \end{bmatrix} = AU(t);$$

$$A = [a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_n]; \quad \frac{d\vec{x}}{dt} = S \cdot \vec{x}(t) + G \cdot (A \cdot U(t))^T;$$

$$\vec{x}(k+1) = (S+I) \cdot \vec{x}(k) + G \cdot (A \cdot U(k))^T. \quad (16)$$

Нелинейность локализована в выходных цепях

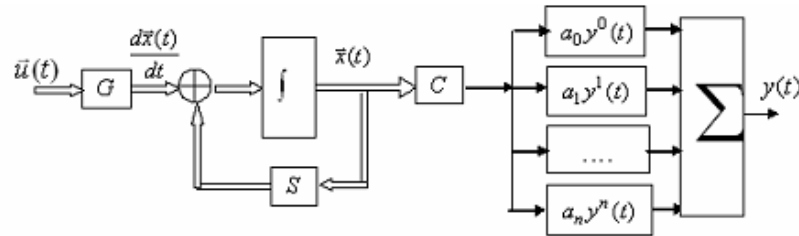


Рис 6

$$y(t) = \sum_{i=0}^n a_i (C \cdot \vec{x}(t))^i.$$

$$\vec{x}(k+1) = (S + I) \cdot \vec{x}(k) + G \cdot \vec{u}(k).$$

(17)

$$y(k) = \sum_{i=0}^n a_i (C \cdot \vec{x}(k))^i.$$

(18)

Нелинейность локализована в цепях обратной связи

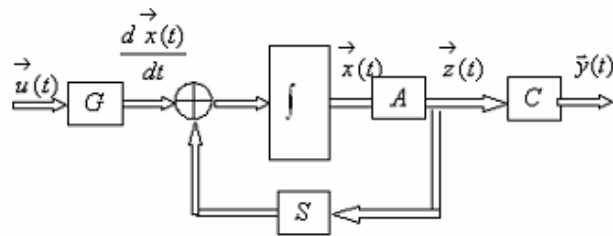


Рис.7

$$Z(t) = \begin{bmatrix} x_1^0(t) & x_2^0(t) & \dots & x_m^0(t) \\ x_1^1(t) & x_2^1(t) & \dots & x_m^1(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^n(t) & x_2^n(t) & \dots & x_m^n(t) \end{bmatrix},$$

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = S \cdot (A \cdot Z(t))^T + G \cdot \vec{u}(t),$$

$$\vec{x}(k+1) = (S + I) \cdot (A \cdot Z(k))^T + G \cdot \vec{u}(k), \tag{19}$$

$$\vec{y}(k) = C \cdot (A \cdot Z(k))^T. \tag{20}$$

Теоретико-игровая модель взаимодействия группировок РЭС СПС

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = f(\vec{x}, \vec{y}, \vec{y}, \vec{u}), \quad x(t_0) = x_0. \quad (21)$$

где \vec{x} - вектор состояний, \vec{y} - вектор стратегий, \vec{y} - вектор взаимодействий, \vec{u} - вектор управлений.

$$x_s = \text{opt } G[K(x), \Lambda], \quad x \in X, \quad (22) \quad x_s = \arg \max_{x \in X} \min_i \lambda_i(K_i), \quad (23) \quad x_s = \arg \min_{x \in X} \max_i \lambda_i(K_i) \quad (24)$$

где $\text{opt } G$ - схема компромисса (обобщенный критерий оценки эффективности), x_s - эффективное решение, $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ - множество критериев, $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$ - относительная важность критериев

Модель динамики взаимодействия и фазовые состояния группировок РЭС СПС

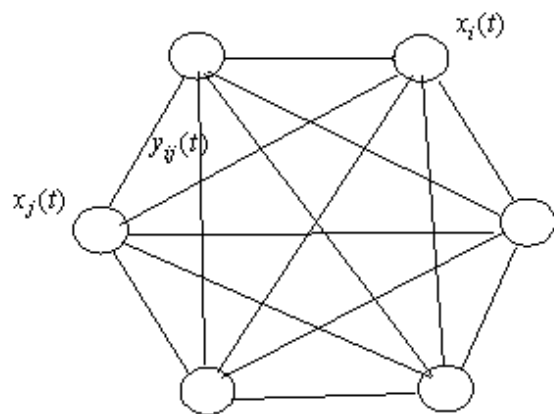


Рис. 8. Структурная схема взаимодействий y_{ij} в СПС

$$\frac{dY_i}{dt} = Y_i(\varepsilon_i - \sum_{s=1}^{N_C} \nu_s Y_s - \sum_{s=1}^{N_C} \sum_{j=1}^{N_C} \nu_{sj} Y_s Y_j). \quad (25)$$

$$Y_i(k+1) = Y_i(k) + Y_i(k)(\varepsilon_i - \sum_{s=1}^{N_C} \nu_s Y_s(k) - \sum_{s=1}^{N_C} \sum_{j=1}^{N_C} \nu_{sj} Y_s(k) Y_j(k)), \quad (26)$$

где $Y(k)$ - взаимодействия между элементами; k - дискретное время, $i, j, s \in \overline{1, N_C}$, N_C - количество сетей, ε - интенсивность взаимодействий;

$\nu_i = \frac{\alpha_i Y_i}{\sum_{i=1}^{N_C} \alpha_i Y_i}$; $0 \leq \nu_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^{N_C} \nu_i = 1$; α_i - нормативное количество ресурса.

Разработка методики анализа ЭМС группировок РЭС МСС

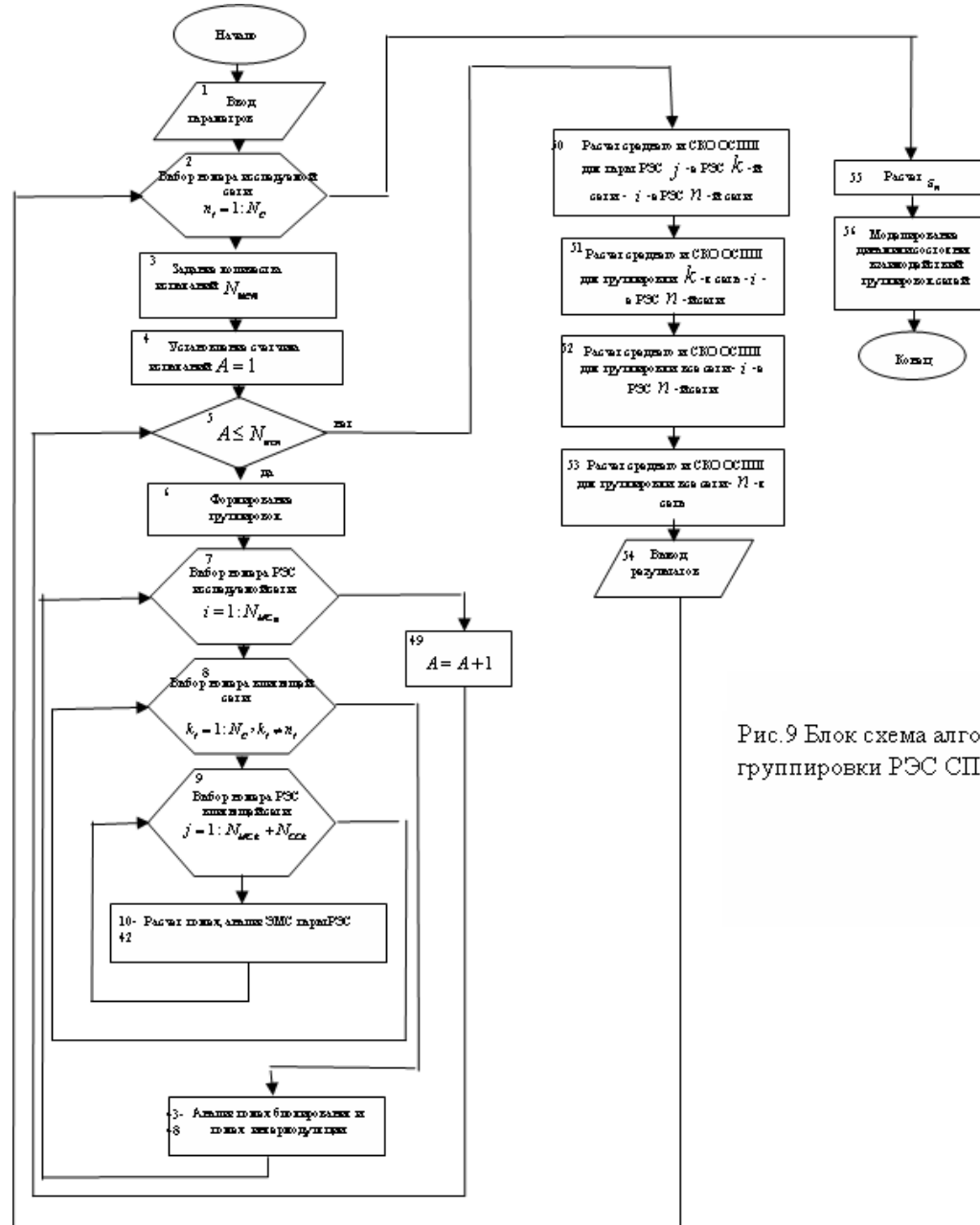
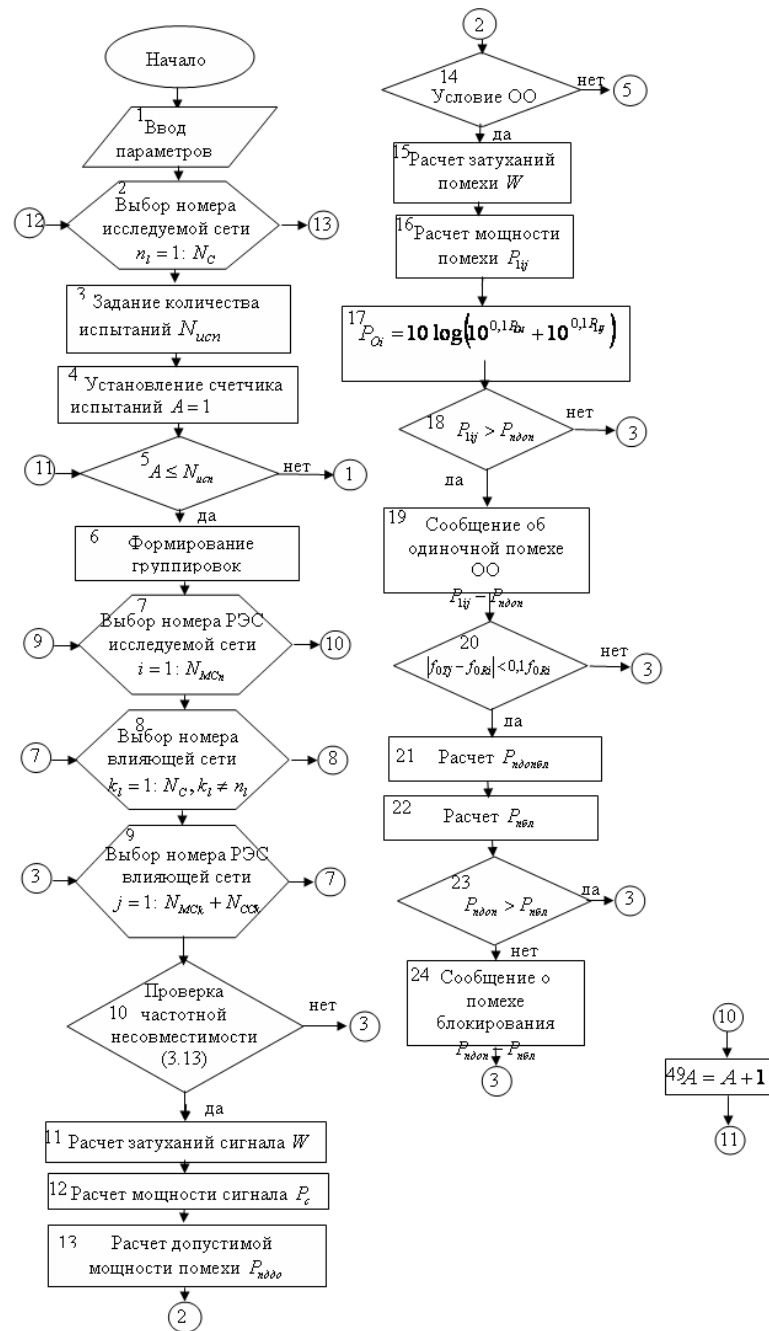
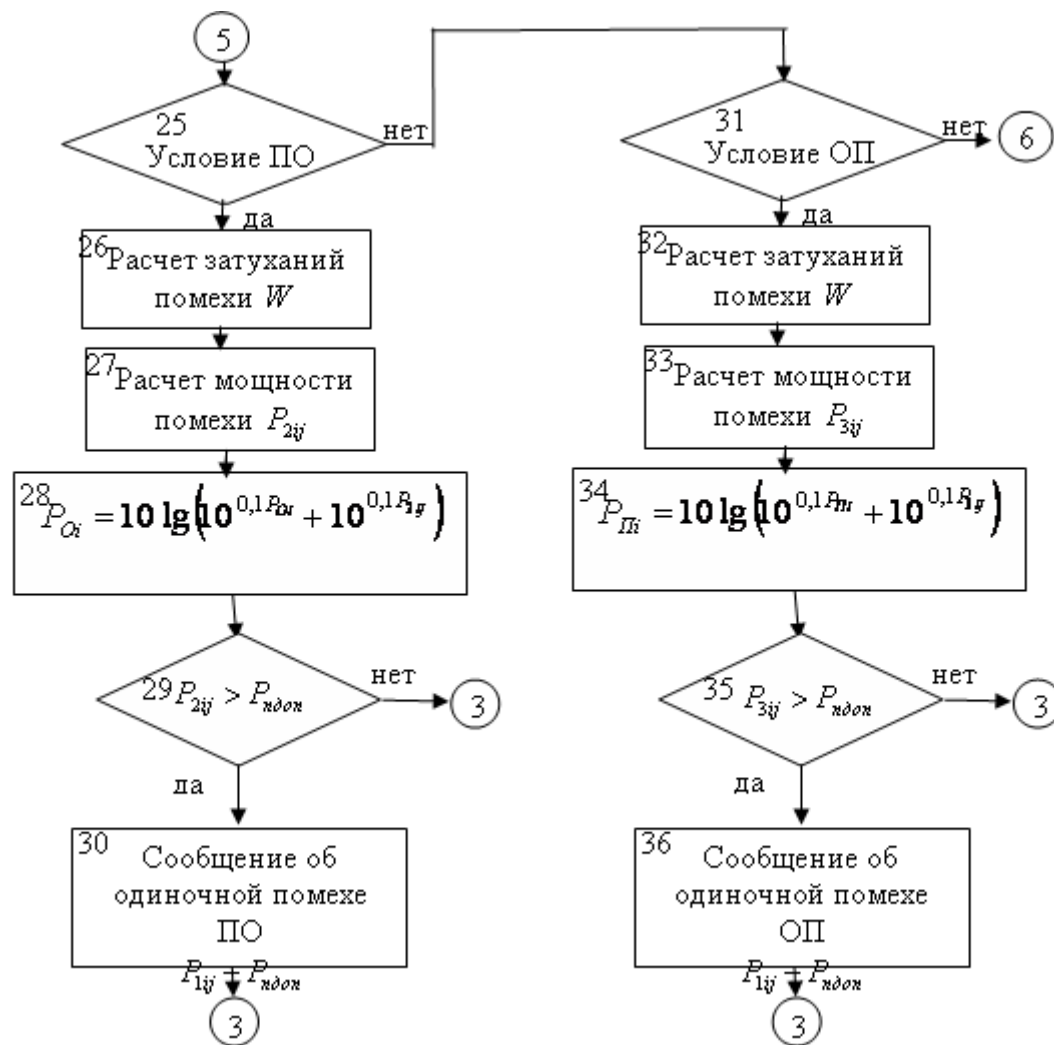
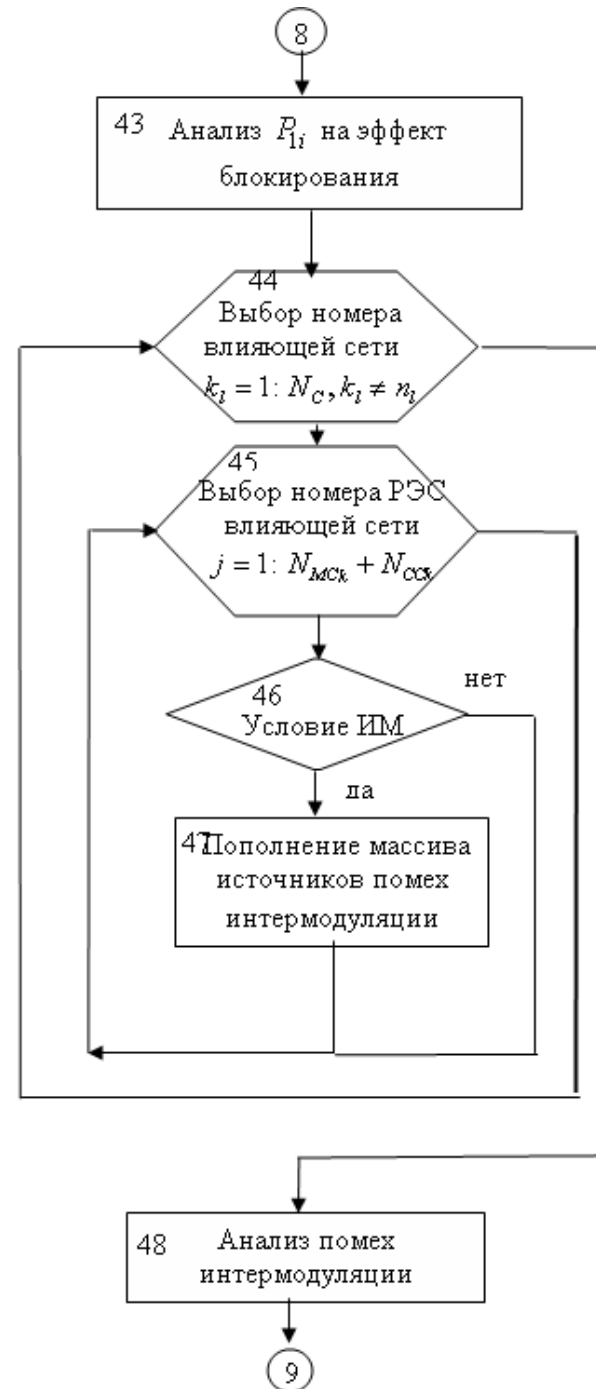
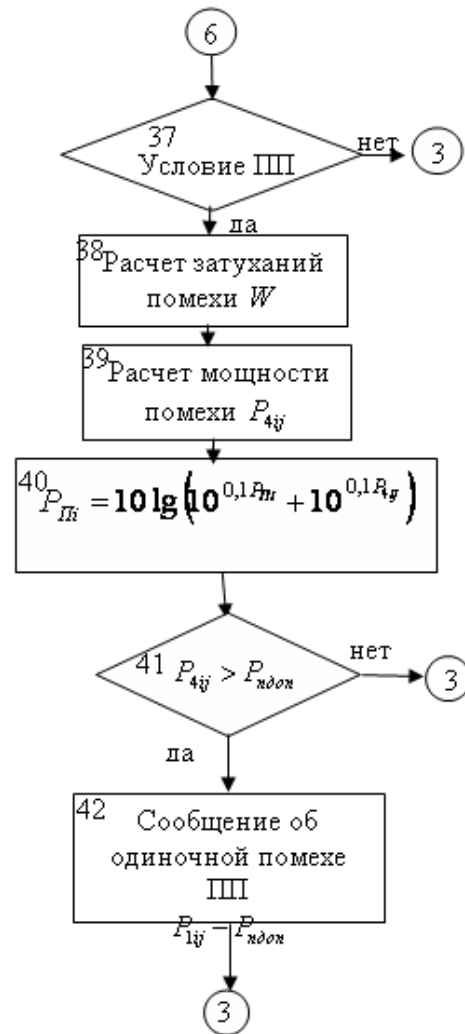
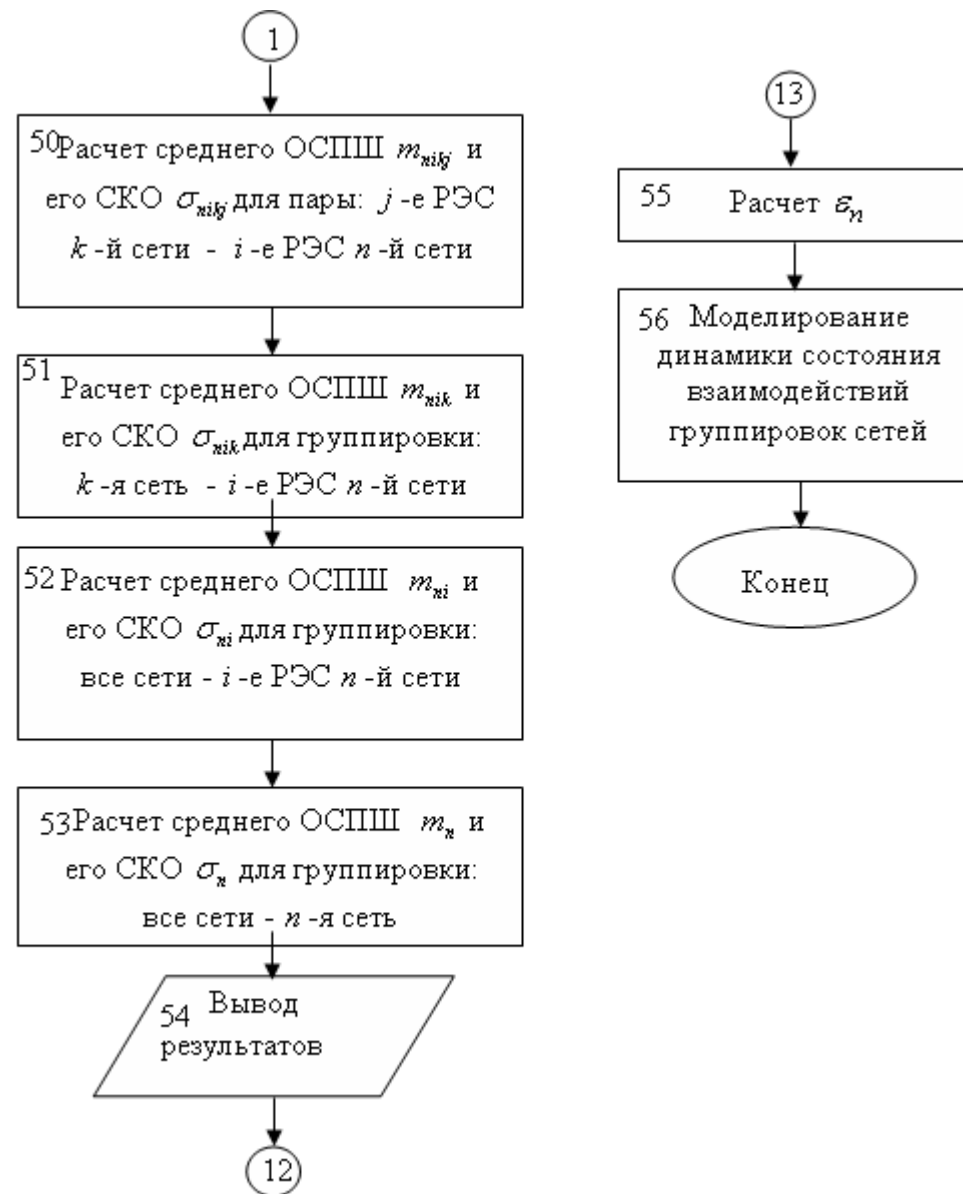


Рис.9 Блок-схема алгоритма методики анализа ЭМ группировки РЭС СПС









ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ДОСТУПА

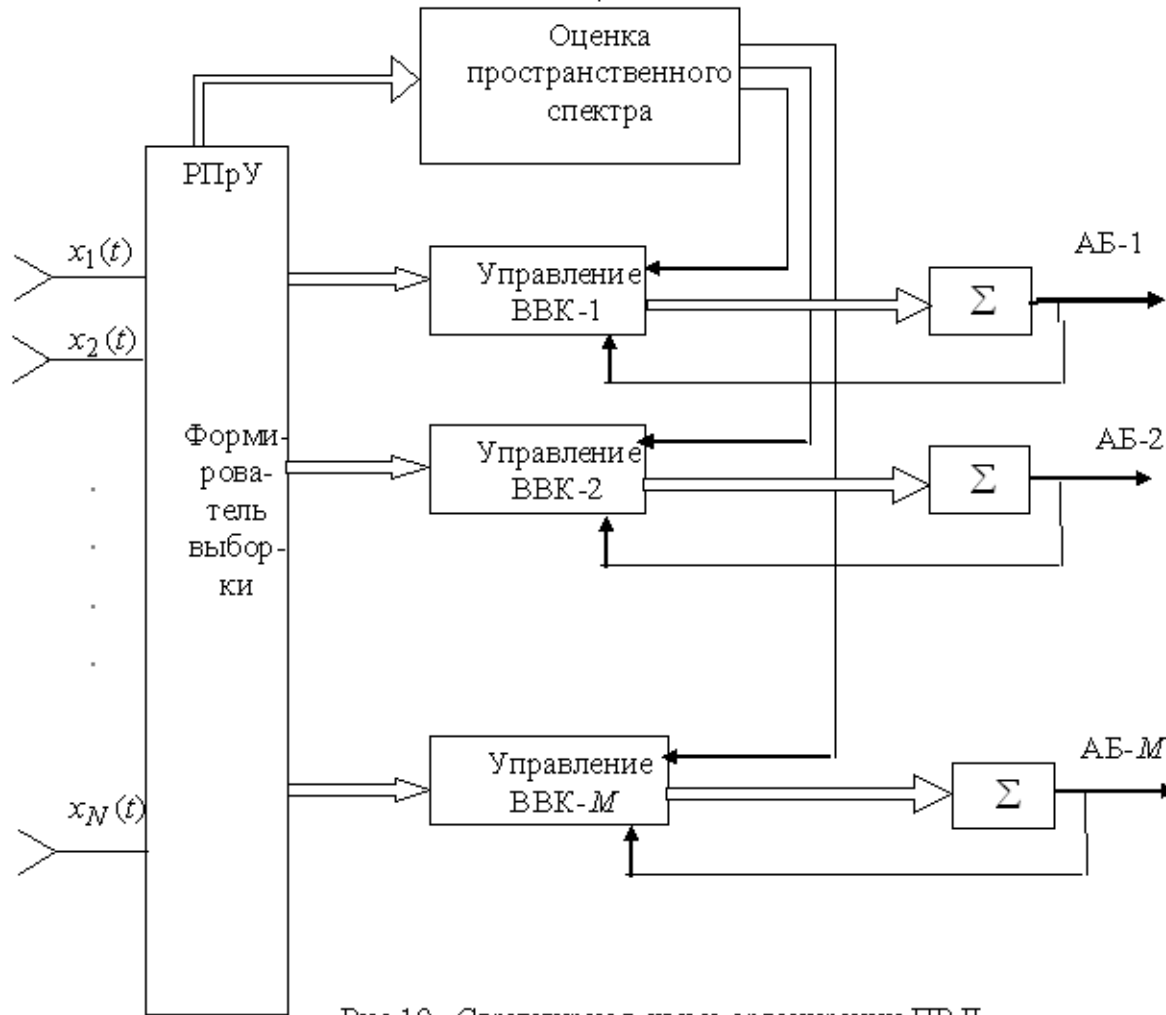


Рис.10. Структурная схема организации ПВД

- 1) Организация заявки на связь с абонентской станцией
- 2) Определение направления прихода сигнала абонента
- 3) Предоставление связи абоненту по узкому лучу

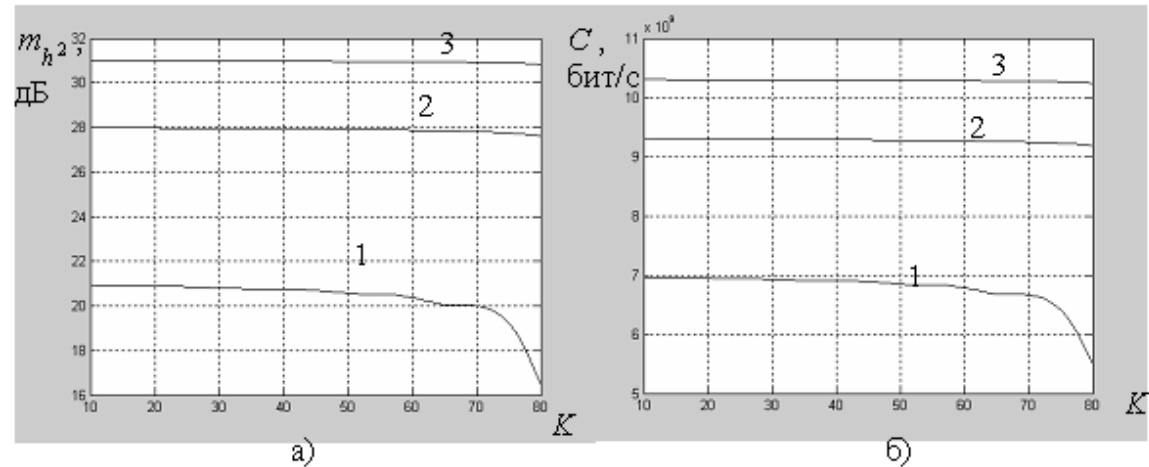
$$\begin{aligned} \vec{W}_m(k+1) &= F(k)\vec{W}_m(k) + \\ &+ P(k)H(k)N_v^{-1} \times \\ &\times \left[H(k)\vec{W}_m(k) - d(k), \right] \end{aligned} \quad (27)$$

$H(k)$ - матрица значений входных сигналов;
 $P_m(k)$ - матрица значений апостериорной дисперсии оценки $\vec{W}_m(k)$ m -го абонента:

$$\begin{aligned} P_m(k+1) &= F(k)P_m(k) + \\ &+ P(k)F^T(k)P_m(k)H(k)N_v^{-1}H(k)P_m(k) + \\ &+ G^T(k)N_u G(k). \end{aligned}$$

Результаты анализа эффективности пространственно-временного доступа

При $N = 10$ и $K = 80$
выделены 5 полос частот.
При $N = 50$ и $K = 80$
выделены 2 полосы частот.
При $N = 100$ и $K = 80$
выделена 1 частотная полоса.



1 – количество антенных элементов $N=10$,
2 – количество антенных элементов $N=50$,
3 – количество антенных элементов $N=100$,

Рис. 11 Зависимости среднего значения ОСПШ ($m_{h,2}$) и пропускной способности (C) от количества помех (K) при организации ПВД

Решение задачи пространственно-временного доступа

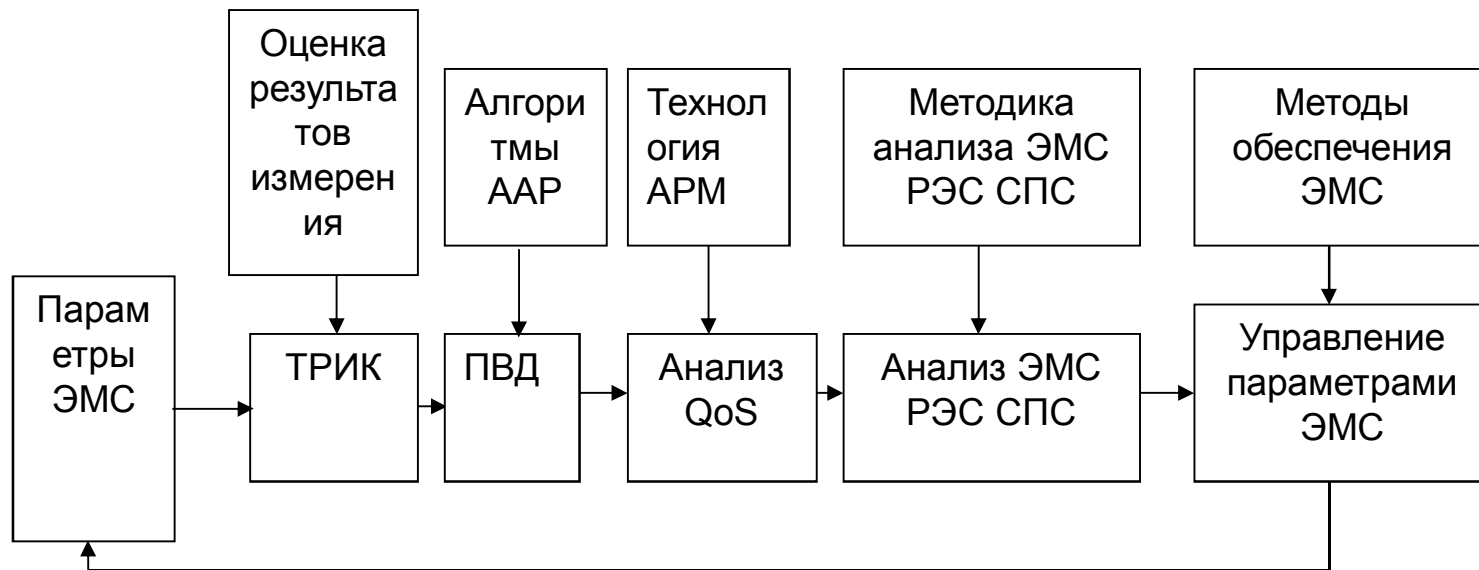


Рис.12. Структурная схема программно-аппаратного комплекса обеспечения электромагнитной совместимости систем подвижной связи