

УДК 621.391  
DOI: 10.15827/0236-235X.118.301-306

Дата подачи статьи: 06.04.17  
2017. Т. 30. № 2. С. 301–306

## УНИФИЦИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ

Ф.Н. Абу-Абед, к.т.н., доцент, aafares@mail.ru  
(Тверской государственный технический университет,  
наб. Аф. Никитина, 22, г. Тверь, 170026, Россия);

Р.В. Домира, д.т.н., профессор, зав. отделом, rvdopira@yandex.ru  
(Научно-производственное объединение «Русские базовые информационные технологии»,  
просп. Калинина, 17, г. Тверь, 170001, Россия);

И.Н. Ищук, д.т.н., доцент, начальник кафедры, Voerby@rambler.ru;

Е.Ю. Брежнев, к.т.н., докторант, dimanbreg@mail.ru;

А.Н. Потанов, к.т.н., доцент, зам. начальника кафедры, potanov\_il@mail.ru  
(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия»  
им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,  
ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия)

В настоящее время оценка ПО учебно-тренировочных средств выполняется по степени совпадения моделируемых процессов с реальными. Однако отсутствие универсальности описания механизмов функционирования эрготехнических информационных радиоэлектронных систем, для которых разрабатываются тренажные комплексы, не обеспечивает выработку инструментария для формирования стратегий их применения с учетом изменения условий функционирования, инвариантного к радиоэлектронным системам. Вследствие этого актуальным является унифицированное описание (представление) функционирования информационных радиоэлектронных систем, на основе которого предполагается создавать ПО их учебно-тренировочных средств.

С учетом этого целью работы является унифицированное описание функционирования информационных радиоэлектронных систем, на основе которого в дальнейшем могла быть реализована оценка ПО их учебно-тренировочных средств. Унифицированное описание функционирования информационных радиоэлектронных систем основывается на едином подходе к их представлению в виде структурно-логических схем, отличительной особенностью которых является то, что в них учитываются радиочастотные (РЧ) взаимодействия с элементами среды, выраженные через РЧ-действия и РЧ-влияния, образующие причинно-следственные отношения РЧ-условий функционирования РЭС. Возможности осуществления радиоэлектронных систем функций выбора, распределения и перераспределения ресурсов зависят от заложенных в нем механизмов управляемости. Для построения структурно-логических схем функционирования эрготехнических радиоэлектронных систем, учитывающих операторскую деятельность, в работе отдельно рассмотрены механизмы их управляемости.

В дальнейшем это позволяет разработать научно-методический аппарат оценки ПО учебно-тренировочных средств операторов управления воздушным движением по результатам экспертизы, а также, при представлении их как систем сложной иерархической структуры построения, по информационному полю рабочих мест операторов управления воздушным движением с использованием критерия Фишера- $\chi^2$  и обобщенного закона распределения.

**Ключевые слова:** эрготехнический, радиоэлектронная система, структурно-логический, управление, модель, автоматизированный.

Принимая во внимание то, что по своему функциональному назначению все радиоэлектронные системы (РЭС) основаны на использовании радиоволн, в работах [1, 2] определена классификация самих РЭС, которая подтверждает справедливость их рассмотрения относительно собственно радиочастотных (РЧ) действий. Это позволяет сформировать единый универсальный подход к представлению РЭС, инвариантный к РЧ-условиям. Выработка рекомендаций по применению РЭС  $S$  должна учитывать как общность действий в РЧ-спектре, так и возможности их реализации.

### Унифицированное представление функционирования информационных РЭС

Под общностью  $R_f$  РЧ-спектра будем понимать непустое множество радиочастот  $R_f = \{f_k\}$ , образу-

ющееся в результате пересечения множеств радиочастот  $f_Q = \{f_{Qj}\}$  и  $f_S = \{f_{Sp}\}$ , используемых, соответственно, РЭС  $S$  и средой  $Q$ :

$$R_f: f_Q = f_Q \cap f_S \neq \emptyset. \quad (1)$$

Элемент  $f_k$  множества радиочастот  $R_f$  образуется в результате

$$f_k: (f_{Qj} \wedge f_{Si} = f_{Qj}) \vee (f_{Qj} \wedge f_{Si} = f_{Si}). \quad (2)$$

Отсутствие общности  $\bar{R}_f = \{\bar{f}_k\}$  РЧ-спектра наблюдается, когда  $\bar{R}_f: f_Q \cap f_S = \emptyset$ , то есть

$$\bar{f}_k: (f_{Qj} \wedge f_{Si} = 0) \vee (f_{Qj} \wedge f_{Si} = 0).$$

Схематично прямую РЧ-связанность  $d_f^+$  РЭС  $S$  со средой  $Q$  можно представить в виде  $d_f^+: S \xrightarrow{R_f} Q$ . Аналогичным образом можно представить об-

ратную РЧ-связанность  $d_f^-$  РЭС  $S$  со средой  $Q$ :

$$d_f^- : S \xleftarrow{R_f} Q.$$

Если существуют одновременно  $d_f^+$  и  $d_f^-$ , значит, РЭС  $S$  и среда  $Q$  являются взаимосвязанными в РЧ-спектре:

$$d_f^\pm = d_f^+ \wedge d_f^- = (S \xrightarrow{R_f} Q) \wedge (S \xleftarrow{R_f} Q) = S \leftrightarrow Q. \quad (3)$$

Тогда можно говорить об отношениях

–  $\bar{d}_f^+ : S \xrightarrow{\bar{R}_f} Q$  – объект  $S$  не имеет прямую РЧ-связанность со средой  $Q$ ;

–  $\bar{d}_f^- : S \xleftarrow{\bar{R}_f} Q$  – объект  $S$  не имеет обратную РЧ-связанность со средой  $Q$ ;

–  $\bar{d}_f^\pm : S \leftrightarrow Q$  – объект  $S$  не имеет как прямую, так и обратную РЧ-связанность со средой  $Q$ .

В соответствии с этим образуются  $d_f = \{d_f^+, d_f^-, d_f^\pm\} = \{d_f^\lambda\}$  и  $\bar{d}_f = \{\bar{d}_f^+, \bar{d}_f^-, \bar{d}_f^\pm\} = \{\bar{d}_f^\lambda\}$  – множества отношений, соответственно, РЧ-связанности и несвязанности ( $\lambda = +, -, \pm$ ).

Так как между любым элементом  $Q_j$  среды  $Q$  и РЭС  $S$  существуют либо отношения  $d_f^\lambda \in d_f$ , либо отношения  $\bar{d}_f^\lambda \in \bar{d}_f$ , с учетом введенных понятий среда  $Q$  может состоять из множества РЧ-связанных  $Q_C$  и множества несвязанных  $Q_D$  элементов, то есть

$$Q_C = \{Q_{Cj} : (Q_j, S) \notin \bar{d}_f\} = \{Q_{Cj} : (Q_j, S) \in d_f\}, \quad (4)$$

$$Q_D = \{Q_{Dj} : (Q_j, S) \notin d_f\} = \{Q_{Dj} : (Q_j, S) \in \bar{d}_f\}, \quad (5)$$

причем

$$Q = \{Q_{Cj} : (Q_j, S) \in d_f\} \cup \{Q_{Dj} : (Q_j, S) \in \bar{d}_f\}. \quad (6)$$

Особый интерес вызывает множество РЧ-связанности  $Q_C$  элементов среды  $Q$  с РЭС  $S$ , так как, если  $Q_C = \{Q_{Cj}\} = \emptyset$ , функционирование последнего в интересах достижения желаемого результата  $P_S$  теряет свой смысл. Поэтому  $Q_C \neq \emptyset$  – *первый сопутствующий признак* функционирования РЭС  $S$ .

Естественно, если  $Q_C \neq \emptyset$ , а  $\Delta_S = \emptyset$ ,  $\Delta_S \subseteq S$  и  $\Delta_Q = \emptyset$ ,  $\Delta_Q \subseteq Q$ , либо  $\Delta_S \neq \emptyset$  и  $\Delta_Q = \emptyset$ , либо  $\Delta_S = \emptyset$  и  $\Delta_Q \neq \emptyset$ , то функционирование РЭС  $S$  в целях достижения желаемого результата  $P_S$  также теряет свой смысл. Поэтому  $\Delta_S \neq \emptyset$  и  $\Delta_Q \neq \emptyset$  – *второй сопутствующий признак* функционирования РЭС  $S$ .

Очевидно, если  $\Delta_S \neq \emptyset$  достигают  $\Delta_Q \neq \emptyset$ , а это возможно тогда и только тогда, когда  $Q_C \neq \emptyset$ , то возникает множество воздействий  $\pi_{SQ} = \{\pi_{SQn}\}$ , соответственно, РЭС  $S$  на среду  $Q$ :

$$\pi_{SQ} = \Delta_S \cap \Delta_Q, \pi_{SQ} \subseteq Q_C.$$

Поэтому  $\pi_{SQ} \neq \emptyset$  – *третий сопутствующий признак* функционирования  $S$ .

Варианты формирования воздействия  $\pi_{SQ}$  РЭС  $S$  на среду  $Q$  могут быть различными:

– прямое воздействие  $\pi_{SQ}^+ : (\Delta_S \xrightarrow{Q_C} \Delta_Q)$ ;

– обратное воздействие  $\pi_{SQ}^- : (\Delta_S \xleftarrow{Q_C} \Delta_Q)$ ;

– взаимное воздействие  $\pi_{SQ}^\pm : (\Delta_S \leftrightarrow^{Q_C} \Delta_Q)$ .

Воздействия  $\pi_{SQ}$  РЭС  $S$  на среду  $Q$  по природе формирования эквивалентны воздействиям  $\pi_{SQ}$  среды  $Q$  на РЭС  $S$ , то есть

$$\begin{aligned} \pi_{SQ}^+ &\sim \pi_{QS}^- : (\Delta_Q \xleftarrow{Q_C} \Delta_S), \\ \pi_{SQ}^- &\sim \pi_{QS}^+ : (\Delta_Q \xrightarrow{Q_C} \Delta_S), \\ \pi_{SQ}^\pm &\sim \pi_{QS}^\pm : (\Delta_Q \leftrightarrow^{Q_C} \Delta_S). \end{aligned} \quad (7)$$

Если условно принять, что  $Q_C \neq \emptyset$  и  $\Delta_Q \neq \emptyset$  являются влиянием  $\beta_Q$  среды  $Q$  на трансформацию действий  $\Delta_S$  РЭС  $S$  в воздействия  $\pi_{SQ}$ , то есть

$$\beta_Q : ((Q_C \neq \emptyset) \vee (\Delta_Q \neq \emptyset)),$$

то справедлива следующая запись:

$$\Delta_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \pi_{SQ}. \quad (8)$$

Аналогичным образом получаем логическую цепочку по формированию воздействия среды  $Q$  на РЭС  $S$ :

$$\Delta_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \pi_{SQ}, \quad (9)$$

где  $\beta_S : ((Q_C \neq \emptyset) \vee (\Delta_S \neq \emptyset))$ .

Эти логические цепочки наглядно представляют процесс формирования воздействий  $\pi_{SQ}$  и  $\pi_{QS}$  в РЧ-спектре.

С учетом вышеизложенного унифицированное представление функционирования активно-пассивных РЭС  $S$  описывается в следующем виде [3, 4]:

– первично РЭС формирует в РЧ-спектре действие  $\Delta_S$ , направленное на излучение радиоволн  $y_S$  ( $\Delta_S : y_S$ );

– в случае наличия в РЧ-спектре влияния  $\beta_Q$  среды  $Q$  часть действия  $\Delta_S : y_S$  трансформируется в воздействие  $\pi_{SQ}$ , радиоволны  $y'_S$  которого являются радиоволнами  $x'_Q$ , принимаемыми средой  $Q$ , то есть  $\pi_{SQ} : y'_S = x'_Q$ ;

– в соответствии с принимаемыми радиоволнами  $x'_Q$  среда  $Q$  осуществляет излучение собственных радиоволн  $y_Q$ , которые являются ее реакцией  $Re(Q)$  на воздействие  $\pi_{SQ}$  РЭС  $S$ , то есть  $y_Q = Re(Q) : \pi_{SQ}$ ;

– излучение средой  $Q$  радиоволн  $y_Q$  характеризует в РЧ-спектре ее действие  $\Delta_Q$ , то есть  $\Delta_Q : y_Q$ ;

– в случае наличия в РЧ-спектре влияния  $\beta_S$  объекта  $S$  часть действия  $\Delta_Q : y_Q$  трансформируется в воздействие  $\pi_{QS}$ , радиоволны  $y'_Q$  которого явля-

ются радиоволнами  $x'_s$ , принимаемыми РЭС  $S$ , то есть  $\Pi_{QS} : (y'_Q = x'_s)$ .

Это можно отобразить как  
 $\Delta_S: y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) \rangle$   
 $\Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q: y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S)$ . (10)

Процесс унифицированного представления [5, 6]

– для *пассивно-активных* РЭС:  
 $\Delta_Q: y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) \rangle$   
 $\Pi_{QS} \rightarrow \Delta_S: y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : y'_S = x'_Q$ ; (11)

– для *активно-адаптивных* РЭС:  
 $\Delta_S: y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) \rangle$   
 $\Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q: y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) \rangle$ ;  $\Pi_{QS} >$ ; (12)

– для *пассивно-адаптивных* РЭС:  
 $\Delta_Q: y_Q \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} : (y'_Q = x'_S) \rightarrow \langle y_S = \text{Re}(S) \rangle$ ;  $\Pi_{QS} >$   
 $\Delta_S: y_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} : (y'_S = x'_Q) \rightarrow \langle y_Q = \text{Re}(Q) \rangle$ ;  $\Pi_{SQ} >$ , (13)

где  $\text{Re}(Q)$  – реакция среды  $Q$ ;  $x'_s \subseteq x_s$ ,  $y'_s \subseteq y_s$ ,  $x'_Q \subseteq x_Q$  и  $y'_Q \subseteq y_Q$ .

В этих структурно-логических схемах в явном виде отсутствует учет ресурсов РЭС, а значит, нет возможности их использования в представленном виде для определения содержательных компонентов учебных упражнений. В [7] рассмотрен пример, из которого видно, что эффективность применения РЭС зависит не только от имеющихся ресурсов, в частности энергетических, но и от возможности реализации объектом функций их перераспределения, в частности излучаемой мощности.

### Механизмы управляемости

Возможность осуществления РЭС функций выбора, распределения и перераспределения ресурсов зависит от заложенных в нем механизмов управляемости. Для построения структурно-логических схем функционирования эрготехнических РЭС, учитывающих операторскую деятельность, рассмотрим отдельно механизмы их управляемости.

Как определено в [3], формирование РЧ-воздействия  $\Pi_{SQ}$  зависит от множества располагаемых РЭС  $S$  ресурсов [6, 8]:

$$R_S = \{f_s, t_s, W_s, \xi_s\}, \quad (14)$$

где  $f_s$  – РЧ-ресурсы (первообразные множества РЧ-связанности  $Q_C = \{Q_C\} \neq \emptyset$ );  $t_s$ ,  $W_s$  и  $\xi_s$  – соответственно временные, энергетические и пространственные ресурсы (первообразные множества действия  $\Delta_S \neq \emptyset$ ).

В свою очередь, располагаемые ресурсы  $R_S$  РЭС  $S$  могут характеризоваться следующими параметрами [4]:

–  $f_s$  – рабочая радиочастота  $f_{s0}$ , РЧ-диапазон  $\Delta f_s$ , полоса пропускания  $\Delta F_s$  и т.п.;

–  $t_s$  – момент времени  $t_{s0}$  возникновения действия  $\Delta_s$ , длительность  $\tau_s$ , периодичность  $T_s$  действия  $\Delta_s$  и т.п.;

–  $W_s$  – энергия  $E_s$ , затрачиваемая на формирование действия  $\Delta_s$ , средняя мощность  $p_s$ , импульсная мощность  $p_{sI}$ , коэффициент полезного действия  $\eta_s$  и т.п.;

–  $\xi_s$  – ширина распространения (проникновения)  $\Delta\theta_s$  и  $\Delta\Phi_s$  действия  $\Delta_s$ , соответственно, в азимутальной и угломестной плоскости, азимут  $\theta_s$  и угол места  $\Phi_s$  распространения максимума действия  $\Delta_s$ , пространственная поляризация  $\gamma_{\Delta_s}$  действия  $\Delta_s$  и т.п.

Сами располагаемые ресурсы  $R_S$  определяют потенциальные возможности применения РЭС  $S$ .

Известно, что в РЧ-спектре РЭС  $S$  при воздействии  $\Pi_{QS}$  на него среды  $Q$  может формировать реакцию  $\text{Re}(S)$  в виде ответных действий:

$$\Delta_S = \text{Re}(S) : \Pi_{QS}. \quad (15)$$

Реакция  $\text{Re}(S)$  может быть управляемой и неуправляемой.

В свою очередь, РЭС  $S$  можно представить в виде

$$S \subseteq \Pi_{QS} \times \Delta_S, \Delta_S = \text{Re}(S) : (\Pi_{QS}, C_S) \quad (16)$$

$$\text{или } \Pi_{QS} \rightarrow C_S \rightarrow \Delta_S, \quad (17)$$

где  $C_S$  – множество состояний  $S$  [4].

Если  $C_S \neq C_S(\Pi_{QS})$ , то  $S$  является условно управляемым в РЧ-спектре, то есть его управление заключается в адаптации действий  $\Delta_S$  на воздействия  $\Pi_{QS}$  без изменения  $C_S$ :

$$\Delta_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} \rightarrow C_S. \quad (18)$$

Если  $C_S = C_S(\Pi_{QS})$ , то  $S$  является безусловно управляемым в РЧ-спектре, то есть его управление заключается в изменении состояния  $C_S$  на воздействия  $\Pi_{QS}$ :

$$\Pi_{SQ} \rightarrow C_S(\Pi_{SQ}) \rightarrow \Delta_S. \quad (19)$$

Объект  $S$  может быть комплексно управляемым в РЧ-спектре, то есть для одной части элементов множества  $C_S = C_S(\Pi_{QS})$ , а другой части –  $C_S \neq C_S(\Pi_{QS})$ :

$$\Delta_S \rightarrow \beta_Q \rightarrow \Pi_{SQ} \rightarrow \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \Pi_{SQ} \rightarrow \beta_S \rightarrow \Pi_{QS} \rightarrow C_S(\Pi_{QS}).$$

Необходимо отметить, что, помимо внешней управляемости (по радиоканалам) РЭС  $S$ , он может быть внутренне управляемым (по электрическим цепям). Внутренняя управляемость состоит в изменении состояния  $C_S$  РЭС  $S$  в зависимости от текущей полезности  $q_s$  его функционирования и желаемого результата  $P_S$  для сложившихся РЧ-условий.

Полезность функционирования РЭС  $S$  [3] представим в виде

$$q_s = q_s(\pi_{qs}, \Delta_s). \quad (20)$$

Если текущая величина функции полезности РЭС  $S$  отличается от желаемого результата  $P_s$ , то необходимо формировать такое управляющее воздействие  $\delta_s$  на состояние  $C_s$ , при котором  $q_s \rightarrow P_s$ , то есть

$$\delta_s(C_s): q_s \rightarrow P_s \quad (21)$$

$$\text{или } \delta_s = F(q_s - P_s), \quad (22)$$

где  $F$  – функционал.

В свою очередь, состояние  $C_s$  зависит от располагаемых ресурсов  $R_s$  [1]:

$$C_s = \text{Re}(S): R_s. \quad (23)$$

Поэтому управляющее воздействие  $\delta_s$  изначально заключается в выборе и распределении (перераспределении) располагаемого ресурса  $R_s$ .

С учетом этого процедура внутреннего управления РЭС  $S$ , направленная на формирование в РЧ-спектре его действия  $\Delta_s$  в соответствии с воздействиями  $\pi_{qs}$  среды  $Q$ , может быть представлена как

$$\pi_{qs} \rightarrow \delta_s = F(q_s - P_s) \rightarrow R_s \rightarrow C_s \rightarrow \Delta_s. \quad (24)$$

Необходимо отметить, что сама процедура внутреннего управления РЭС  $S$  может быть организационной и неорганизационной [4].

Организационное управление РЭС  $S_o$  заключается в выборе и распределении (перераспределении) непосредственно человеком (оператором) располагаемого ресурса  $R_s$ , направленных на минимизацию невязки между действительной полезностью  $q_s$  и желаемым результатом  $P_s$  функционирования объекта и реализуемых оператором с помощью органов управления.

Неорганизационное управление РЭС  $S_{no}$  – это управление располагаемыми ресурсами  $R_s$ , выполняемое без участия человека (оператора) на основании собственных действий, которые по отношению к объекту являются внутренними.

Ресурсы  $R_s$  обеспечивают формирование как РЧ-действий  $\Delta_s$ , так и информационных потоков  $\Xi$ , на основании анализа которых оператор осуществляет операции  $D$  по воздействию на органы управления объекта  $S$  [5].

С учетом этого функционирование *адаптивно-пассивной* эрготехнической РЭС  $S$  представим в следующем виде [5]:

– для автоматизированного режима ( $\delta_s \neq \emptyset, U_s \neq \emptyset$ ):

$$\begin{aligned} \pi_{qs} &\rightarrow \delta_s = F(q_s - P_s) \vee (\wedge) \Xi \rightarrow \\ &\rightarrow \langle \text{Оператор} : \Psi_s \rangle \rightarrow D \rightarrow U_D \rightarrow \\ &\rightarrow \vee (\wedge) R_s \rightarrow C_s \rightarrow \Delta_s \rightarrow \beta_{sq} \rightarrow \pi_{sq} \rightarrow \\ &\rightarrow \langle \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \pi_{sq} \rangle \rightarrow \beta_{qs} \rightarrow \pi_{qs}; \end{aligned} \quad (25)$$

– для ручного режима ( $\delta_s = \emptyset, U_s \neq \emptyset$ ):

$$\begin{aligned} \pi_{qs} &\rightarrow q_s \rightarrow \Xi \rightarrow \langle \text{Оператор} : \Psi_s \rangle \rightarrow \\ &\rightarrow D \rightarrow U_D \rightarrow R_s \rightarrow C_s \rightarrow \Delta_s \rightarrow \beta_{sq} \rightarrow \\ &\rightarrow \pi_{sq} \rightarrow \langle \Delta_Q = \text{Re}(Q) : \pi_{sq} \rangle \rightarrow \beta_{qs} \rightarrow \pi_{qs}. \end{aligned} \quad (26)$$

Соответственно функционирование автоматического РЭС  $S$  ( $\delta_s \neq \emptyset, U_s = \emptyset$ ) имеет следующее представление:

$$\begin{aligned} \pi_{qs} &\rightarrow \delta_s = F(q_s - P_s) \rightarrow R_s \rightarrow \\ &\rightarrow C_s \rightarrow \Delta_s \rightarrow \beta_{sq} \rightarrow \pi_{sq} \rightarrow \langle \Delta_Q = \\ &= \text{Re}(Q) : \pi_{sq} \rangle \rightarrow \beta_{qs} \rightarrow \pi_{qs}. \end{aligned} \quad (27)$$

Структурно-логические модели (25) и (26) определяют прямую задачу по регулированию РЧ-условий функционирования РЭС за счет выполнения операторами предписанных операций  $D$  в соответствии с ранее сформированными у них перцептивными образами.

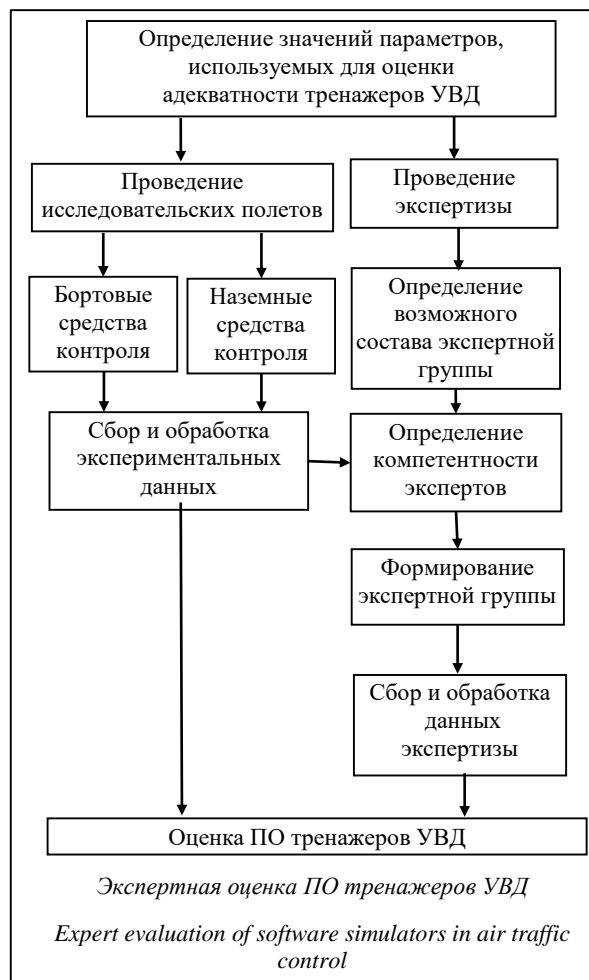
Использование системного подхода и теоретико-множественного описания систем позволило на основании общих для всех РЭС РЧ-признаков классифицировать и определить единый подход представления РЭС в виде структурно-логических схем, отличительной особенностью которых является то, что в них учитываются РЧ-взаимодействия с элементами среды, выраженные через РЧ-действия и РЧ-влияния, образующие причинно-следственные отношения РЧ-условий функционирования РЭС. На основании единого подхода к представлению РЭС, а также учитывая их управляемость, уточнено структурно-логическое описание унифицированного представления функционирования информационных РЭС [9, 10].

Таким образом, унифицированное описание функционирования информационных РЭС основано на едином подходе к их представлению в виде структурно-логических схем, отличительной особенностью которых является то, что в них учитываются РЧ-взаимодействия с элементами среды, выраженные через РЧ-действия и РЧ-влияния, образующие причинно-следственные отношения РЧ-условий функционирования РЭС.

### Оценка ПО учебно-тренировочных средств

Данная оценка при унифицированном описании функционирования информационных РЭС может быть выполнена по результатам экспертизы, а также при представлении их как систем сложной иерархической структуры построения и по информационному полю рабочих мест операторов *управления воздушным движением* (УВД) с использованием критерия Фишера- $\chi^2$  и обобщенного закона распределения.

На рисунке представлена структура экспертной оценки имитационного моделирования учебно-тренировочных комплексов операторов УВД.



На рисунке (см. [http://www.swsys.ru/uploaded/image/2017\\_2/2017-2-dop/1.jpg](http://www.swsys.ru/uploaded/image/2017_2/2017-2-dop/1.jpg)) представлен интерфейс программы оценки ПО (оценки адекватности) учебно-тренировочных комплексов операторов УВД и управления планированием тренажной подготовки специалистов по эксплуатации информационных РЭС.

Рассмотренное унифицированное описание функционирования информационных РЭС реализуемо для учебно-тренировочных средств операторов

УВД. Это позволяет в дальнейшем выполнить оценку результатов имитационного моделирования в учебно-тренировочных средствах операторов УВД и скорректировать организацию тренажной подготовки.

#### *Литература*

1. Потапов А.Н. Автоматизация тренажной подготовки операторов радиоэлектронных объектов управления воздушным движением. Воронеж: Изд-во ВАИУ, 2010. 136 с.
2. Сысоев Е.С. Особенности функционирования эргатических радиоэлектронных средств управления воздушным движением // Научные чтения имени А.С. Попова: сб. стат. регион. науч.-практич. конф. Воронеж: Изд-во ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. С. 38–42.
3. Лебедев В.В., Романов А.В. Теоретико-множественный подход к описанию функционирования эрготехнических радиоэлектронных средств // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: сб. тр. 32 Всерос. науч.-технич. конф. Серпухов: Изд-во филиала ВА РВСН им. Петра Великого, 2013. С. 118–122.
4. Сысоев В.В., Крутских П.П., Свинцов А.А. Математическая модель информационного конфликта // Радиотехника (журнал в журнале). 1999. № 3. С. 77–80.
5. Дикарев В.А., Султанов Р.В. Обеспечение качества применения компьютерных систем тренажа. Балашов: Николаев, 2002. 89 с.
6. Пономаренко В.А. Психология жизни и труда летчика. М.: Воениздат, 1992. 58 с.
7. Губсков Ю.А., Прокофьев С.Н. Системная модель информационной конфликтно-устойчивой автоматизированной системы освоения эрготехнических комплексов // Информатика: проблемы, методология, технологии: матер. 12 Междунар. науч.-методич. конф. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2012. Т. 1. С. 109–112.
8. Дудоров А.Д. Методика оценки тренажеров лиц группы руководства полетами в интересах повышения качества их подготовки // Современные проблемы и перспективные направления развития авиационных комплексов и систем военного назначения, формы и способы их боевого применения: сб. стат. Всерос. науч.-практич. конф. Воронеж: Изд-во ВАИУ, 2011. С. 92–98.
9. Абу-Абед Ф.Н., Помазуев О.Н., Платонов А.Ю., Мионов А.М., Рюмшин А.Р. Методика определения показателей качества обнаружения радиолокационных станций // Программные продукты и системы. 2014. № 2. С. 118–124.
10. Назаров Т.И. Анализ системы организации тренажной подготовки операторов радиоэлектронных объектов управления воздушным движением // Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы, подготовка специалистов: тр. XXIV Межвуз. науч.-технич. конф. СПб: Изд-во ВУНЦ ВМФ, 2013. С. 334–338.

#### UNIFIED DESCRIPTION OF INFORMATION RADIOELECTRONIC SYSTEM FUNCTIONING TO ESTIMATE TRAINING AIDS SOFTWARE

- F.N. Abu-Abed*<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, [aafares@mail.ru](mailto:aafares@mail.ru)  
*R.V. Dopira*<sup>2</sup>, Ph.D. (Engineering), Professor, Head of the Department, [rvdopira@yandex.ru](mailto:rvdopira@yandex.ru)  
*I.N. Ishchuk*<sup>3</sup>, Ph. D., associate Professor, Head of Department, [Boerby@rambler.ru](mailto:Boerby@rambler.ru)  
*E.Yu. Brezhnev*<sup>3</sup>, Ph.D. (Engineering), Doctoral Student, [dimanbreg@mail.ru](mailto:dimanbreg@mail.ru)  
*A.N. Potapov*<sup>3</sup>, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Deputy Head of Chair, [potapov\\_il@mail.ru](mailto:potapov_il@mail.ru)

<sup>1</sup> Tver State Technical University, Nikitin Quay 22, Tver, 170026, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC "Research and Production Association Russian basic information technologies" ("NPO RusBITeh"), Kalinina Ave. 17, Tver, 170001, Russian Federation

<sup>3</sup> Military Scholastic-Scientific Centre of the Air Forces "Zhukovsky and Gagarin Air Forces Academy", Starykh Bolshevikov St. 54a, Voronezh, 394064, Russian Federation

**Abstract.** Nowadays, training aids software evaluation is performed according to the coincidence degree of simulated processes with the real one. However, the lack of universality in the description of the mechanisms for operating ergonomic information radio electronic systems (RES), for which training complexes are developed, does not ensure development of tools to form their application strategies taking into account changes in operating conditions that are invariant to RES. As a result, a unified description (representation) of information radio electronic system functioning is relevant. On this basis it is proposed to create software for their training aids.

Considering this, the goal of the work is a unified description of information radio electronic systems functioning with further implementation of their training aids software evaluation. A unified description of information radio electronic systems functioning is based on a unified approach to RES representation as structural and logical schemes. Their distinguishing feature is that they take into account radio frequency (RF) interactions with environmental elements expressed through RF actions and RF influences that form cause-effect relationship of RES operation RF-conditions. The possibilities of implementing RES of the functions of selecting, distributing and redistributing resources depend on the mechanisms of controllability in it. To construct structural and logical schemes of ERT operation that take into account operator activity, the paper considers the mechanisms of their controllability.

This allows us to develop a scientific and methodological instrument to evaluate software of training facilities for air traffic control operators (ATC) based on the examination results. Moreover, when presenting them as complex hierarchical structure systems and in the information field of ATC operator workplaces using Fisher- $\chi^2$  criterion and the generalized distribution law.

**Keywords:** ergo technical, radio-electronic system, structural and logical, management, model, automated.

### References

1. Potapov A.N. *Avtomatizatsiya trenazhnoy podgotovki operatorov radioelektronnykh obektov upravleniya vozdushnym dvizheniem* [Automation Training of Operators of Radio-Electronic Air Traffic Control Facilities]. Voronezh, VAIU Publ., 2010, 136 p.
2. Sysoev E.S. The features of functioning of ergatic electronic equipment for air traffic control. *Nauchnye chteniya imeni A.S. Popova: sb. stat. region. nauch.-praktich. konf.* [Proc. Regional Science and Practice Conf. "Scientific readings n.a. A.S. Popov]. 2012, Voronezh, VUNTS VVS "VVA" Publ., 2012, pp. 38–42 (in Russ.).
3. Lebedev V.V., Romanov A.V. A set-theoretical approach to the functioning description of ergotechnical electronic equipment. *Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem: sb. tr. 32 Vseros. nauch.-tekhnich. konf.* [Proc. 32th All-Russian Science and Practice Conf. "Efficiency and Safety Problems of Difficult Technical and Information Systems Functioning"]. 2013, Serpukhov, VA RVS Publ., 2013, pp. 118–122 (in Russ.).
4. Sysoev V.V., Krutskikh P.P., Svintsov A.A. A mathematical model of an information conflict. *Radiotekhnika* [Radioengineering]. 1999, no. 3, pp. 77–80 (in Russ.).
5. Dikarev V.A., Sultanov R.V. *Obespechenie kachestva primeneniya kompyuternykh sistem trenazha* [Quality Assurance in Computer Training System Application]. Balashov, Nikolaev Publ., 2002, 89 p.
6. Ponomarenko V.A. *Psikhologiya zhizni i truda letchika* [Psychology of Pilot's Life and Work]. Moscow: Military Publ., 1992, 58 p.
7. Gubskov Yu.A., Prokofev S.N. A system model of an information conflicts-sustainable automated system for acquisition of ergotechnical complexes. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: mater. 12 Mezhdunar. nauch.-metodich. konf.* [Proc. 12th Int. Science and Methodical Conf. "Computer Science: Problems, Methodology, Technology"]. Voronezh, VGU Publ., 2012, vol. 1, pp. 109–112 (in Russ.).
8. Dudorov A.D. Methodology for the assessment of equipment entities of a flight management group to improve the quality of their training. *Sovremennye problemy i perspektivnye napravleniya razvitiya aviatsionnykh kompleksov i sistem voennogo naznacheniya, formy i sposoby ikh boevogo primeneniya: sb. stat. Vseros. nauch.-praktich. konf.* [Proc. All-Russian Science and Practice Conf. "Modern Problems and Potential Development Directions of Aircraft Systems and Military Systems, Forms and Methods of Their Combat Use"]. Voronezh, VAIU Publ., 2011, pp. 92–98 (in Russ.).
9. Abu-Abed F.N., Pomazuev O.N., Platonov A.Yu., Mironov A.M., Ryumshin A.R. The method of quality factors estimation for radar detection. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2014, no. 2, pp. 118–124 (in Russ.).
10. Nazarov T.I. The analysis of the training organization system for operators radio electronic objects of air traffic control. *Proc. 24th Interuniversity Science and Tech. Conf. "Military Radio Electronics: Experience and Problems, Training of Specialists"*. 2013, St. Petersburg, VUNC VMF Publ., 2013, pp. 334–338 (in Russ.).