

УДК: 62-503.55

DOI: 10.53816/23061456\_2021\_9-10\_27

**ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА  
И ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ**

**GENERALIZED MODEL OF THE PROCESS OF INTERACTION BETWEEN  
THE OPERATOR AND THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX  
OF COMMUNICATION**

*С.В. Федорова, д-р техн. наук С.С. Семенов, канд. техн. наук В.Г. Федоров*

*S.V. Fedorova, D.Sc. S.S. Semenov, Ph.D. V.G. Fedorov*

*ВАС им. С.М. Буденного*

В статье определена структура процесса взаимодействия элементов сложной человеко-машинной системе «оператор–программно-аппаратный комплекс связи (ПАКС)», представлена зависимость деятельности оператора от структуры и параметров элементов графического пользовательского интерфейса, с помощью которого оператор осуществляет управление программно-аппаратным комплексом связи для достижения цели функционирования системы. На основании представленных структуры и зависимости предложена обобщенная математическая модель процесса взаимодействия оператора и программно-аппаратного комплекса связи в виде сложной стохастической сети. Такой подход позволяет представить последовательность действий оператора в виде вложенной цепи Маркова и провести расчеты показателей функциональной надежности системы «оператор–ПАКС» с помощью синтеза типовых функциональных единиц с известными параметрами.

**Ключевые слова:** функциональная надежность, графический пользовательский интерфейс, надежность деятельности оператора, человеко-машинная система, программно-аппаратный комплекс связи.

The article defines the structure of the process of interaction of elements of a complex human-machine system «operator–software and hardware complex of communication», presents the dependence of the operator's activity on the structure and parameters of the elements of the graphical user interface, through which the operator controls the software and hardware complex of communication to achieve the goal of the system. Based on the proposed structure and dependence, a generalized mathematical model of the process of interaction between the operator and the software and hardware complex of communication, as well as the sequence of calculating the functional reliability index of the human-machine system «operator–software and hardware complex of communication» is proposed.

**Keywords:** functional reliability, graphical user interface, operator activity reliability, human-machine system, functional reliability, software and hardware communication complex.

Способность обеспечения устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытного управления войсками и оружием, достигается не только обеспеченностью системы связи, как составно-

го элемента системы управления, современными видами средств и комплексов связи, но и выполнением предъявляемых к ней требований, в частности к устойчивости и надежности. На-

дежность системы связи, как сложной системы, определяется надежностью элементов, входящих в ее состав. Технической составляющей системы являются средства и комплексы связи. Личный состав управляющими и обслуживающими воздействиями на органы управления обеспечивает функционирование этих средств и является неотъемлемым элементом этой системы.

Требования к надежности таких сложных систем, как система связи, следует разделить на два класса задач обеспечения их надежности, к первому классу задач относятся задачи надежности техники, входящей в структуру системы связи, так называемая структурная надежность (это физическое свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1]), ко второму классу задач — задачи надежности функционирования системы, так называемая функциональная надежность — это способность системы достигать поставленную цель (цели) в процессе функционирования с требуемыми качеством, точностью и временем [2, 3].

Тенденции неуклонного развития современных технологий и выполнение мероприятий по комплексному оснащению Вооруженных Сил Российской Федерации современными видами техники сопровождается повышением степени автоматизации процесса управления такой техникой и, следовательно, появлением в составе техники вычислительных средств, с помощью которых оператор осуществляет управление ею. Система, включающая в себя человека — оператора, машину, посредством которой он осуществляет трудовую деятельность, и среду на рабочем месте называется системой «человек—машина» (СЧМ) [4]. Таким образом, входящие в структуру системы связи элементы «оператор—программно-аппаратный комплекс связи» можно отнести к системам «человек—машина».

Процесс взаимодействия оператора и ПАКС является основной составляющей процесса функционирования всей системы «оператор—ПАКС» и заключается в осуществлении управляющих воздействий оператора на объект управления (ПАКС) с необходимым качеством, а также в постоянном обмене совокупностью информации (сигналами, параметрами и сведениями) между оператором и программным обе-

спечением ПАКС о состоянии и функционировании объекта управления [5, 6]. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что человеческая деятельность является основной и целеполагающей в процессе функционирования СЧМ, а функционирование технической части носит исполняющий характер.

Взаимодействие между оператором и ПАКС осуществляется посредством пользовательского интерфейса. Пользовательский интерфейс [7, 8] включает в себя аппаратную и программную составляющие. К аппаратному пользовательскому интерфейсу относятся средства управления и отображения информации, используемые человеком—оператором при осуществлении диалога с вычислительными средствами. Программный пользовательский интерфейс представляет собой совокупность программных средств, обеспечивающих диалог оператора с вычислительными средствами и визуализацию виртуальных объектов на экране дисплея, называемый графический пользовательский интерфейс (ГПИ).

Математически структуру процесса взаимодействия оператора и ПАКС посредством ГПИ —  $S$  в общем виде можно представить коротким вида:

$$S = \langle E_s, F_s, R_s, Q_s \rangle,$$

где  $E_s$  — совокупность элементов процесса;  $F_s$  — множество типовых функциональных единиц, выполняемых элементами структуры;  $R_s$  — множество взаимосвязей между элементами структуры;  $Q_s$  — множество показателей зависимости между элементами структуры процесса взаимодействия, определяющих эффективность и надежность функционирования системы «оператор—ПАКС» в целом.

Совокупность элементов процесса взаимодействия оператора и ПАКС представляет собой множество, которое включает в себя: оператора  $E_1$ ; множество орудий труда — программные  $E_2$  и технические (аппаратные)  $E_3$  средства пользовательского интерфейса средств автоматизации и вычислительной техники; исходную информацию  $E_4$ ; множество реальных объектов и процессов внешней среды, оказывающих влияние на показатели деятельности оператора и ПАКС  $E_5$ .

$$E_s = \langle E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 \rangle.$$

Структурное описание оператора  $E_1$  представляет собой совокупность его инженерно-психологических характеристик, которые количественно и качественно определяют процессы приема, переработки и передачи информации, принятия решения в процессе управления ПАКС. К ним относятся: профессиональные характеристики  $F_p$ ; характеристики анализаторов  $F_a$ , т.е. каналов приема информации оператора; интеллектуальные характеристики  $F_i$ :

$$E_1 = \langle F_p, F_a, F_i \rangle.$$

Необходимо отметить, что указанные характеристики носят стохастический характер, тесно взаимосвязаны между собой и зависят от множества внутренних и внешних по отношению к человеку факторов.

Структурное описание программного пользовательского интерфейса представляет собой совокупность описаний множества элементов, из которых состоит интерфейс и взаимосвязей между ними. Поскольку в графическом пользовательском интерфейсе WIMP-типа (как получившем наибольшее применение в ПАКС) любой элемент может содержать в себе другие элементы, т.е. как бы быть контейнером для других, имеет место отношение подчиненности между элементами, формирующее их древовидную структуру [8, 9]. Начальная экранная форма интерфейса является при этом главным контейнером, внутри которого размещены все его элементы. Таким образом, структура интерфейса имеет вид:

$$E_2 = \langle E_2^n \rangle,$$

где  $E_2^n$  — элемент интерфейса, индекс которого определяет его положение в структуре и взаимосвязь между элементами.

При этом структура самого элемента имеет следующий вид:

$$E_2^n = \langle P^n, S^{nm}, a^n \rangle,$$

где  $P^n$  — множество параметров элемента с индексом  $n$ ;  $S^{nm}$  — множество элементов, входящих в его состав;  $a^n$  — линейный порядок во множестве  $S^{nm}$ , определяющий последовательность элементов в  $E_2^n$ .

Поскольку в графических пользовательских интерфейсах WIMP-типа пользователь может интерактивно взаимодействовать только с одним элементом интерфейса линейный порядок  $a^n$  определяет цепочку перемещения между элементами.

Структура элементов интерфейса будет иметь вид, представленный на рис. 1.

У каждого элемента можно выделить следующие основные параметры:

– информационные параметры элемента  $I$ , представляющие собой множество надписей  $T$ , множество изображений  $P$ , уровни информационной нагруженности  $I_{in}$  и  $I_{out}$ :

$$I = \langle T, P, I_{in}, I_{out} \rangle;$$

– визуальные параметры элемента  $D$  (параметры оформления): используемый шрифт  $fnt$ , кегель  $k$ , начертание  $s$ , цвет текста (переднего плана)  $frc$  и фона  $b$ , используемые изменения  $m$  текста (например, подчеркивание), используемые эффекты  $e$  (например, мерцание текста)

$$D = \langle fnt, k, s, frc, b, m, e \rangle;$$

– параметры геометрического расположения элемента на экранной форме интерфейса, заданная его контуром  $L$  — замкнутая ломаная линия, являющаяся упорядоченной последовательностью точек с координатами  $x$  и  $y$ :

$$L = \langle (x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i) \rangle, i = 1, 2, 3, \dots$$

Таким образом, параметры элемента интерфейса можно формально описать следующим набором:

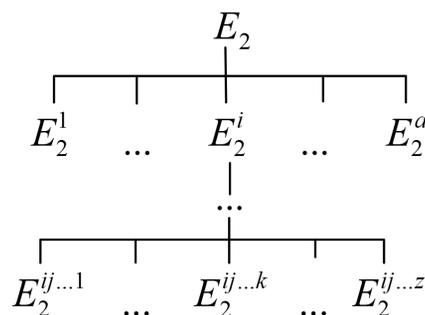


Рис 1. Структура множества элементов, входящих в состав ГПИ WIMP-типа

$$P^n = \langle I, D, L \rangle = \left\langle \begin{array}{l} I = \langle T, P, I_{in}, I_{out} \rangle \\ D = \langle fnt, k, s, frt, b, m, e \rangle \\ L = \langle (x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i) \rangle \end{array} \right\rangle.$$

Множество  $E_3$  технических (аппаратных) средств пользовательского интерфейса средств автоматизации и вычислительной техники представляет собой совокупность средств управления, предназначенных для ввода информации и осуществления управляющих воздействий на ПАКС от оператора, и средств отображения информации, предназначенных для представления оператору информации в доступной для его восприятия форме.

С учетом большого многообразия технических средств пользовательского интерфейса введем ограничения: в структуру рассматриваемой модели процесса взаимодействия оператора и ПАКС посредством ГПИ входят устройство вывода (отображения) информации — монитор или экран  $E_{3\gamma}$ , устройства управления и ввода информации: клавиатура  $E_{3\kappa}$  и мышь  $E_{3\mu}$

$$E_3 = \langle E_{3\gamma}, E_{3\kappa}, E_{3\mu} \rangle.$$

Множество  $E_4$  исходной информации, необходимой для осуществления трудовой деятельности оператора, представляет собой совокупность исходных данных (таблиц, команд и др.) и инструкций (алгоритмов действия оператора) и др.

$$E_4 = \langle E_{4d}, E_{4i} \rangle.$$

Множество реальных объектов и процессов внешней среды, оказывающих влияние на показатели деятельности оператора и ПАКС  $E_5$  представляет собой совокупность субъективных и объективных факторов, оказывающих воздействие на систему «оператор–ПАКС»: климатические условия, воздействие противника, психологическое состояние оператора, режим труда и отдыха, и др.

$$E_5 = \langle E_{5o}, E_{5p} \rangle.$$

Множество типовых функциональных единиц (ТФЕ) [9] процесса взаимодействия оператора и ПАКС состоит из множества элементарных

действий оператора  $F_{s1}$  (например, нажатие клавиши на клавиатуре, поиск необходимого элемента ГПИ) и технологических операций ПАКС  $F_{s2}$ , обеспечивающих процесс взаимодействия, (например, отклик системы на действие оператора, выполнение техникой команды). При этом множества  $F_{s1}$  и  $F_{s2}$  принадлежат множеству машинных операций и действий оператора —  $F_{s0}$ , обеспечивающих функционирование СЧМ «оператор–ПАКС»:

$$F_s = \langle F_{s1}, F_{s2} \rangle, \forall F_{s1}, F_{s2} \in F_{s0}.$$

Взаимодействие оператора с элементом ГПИ описывается набором ТФЕ, который представляет собой типовую функциональную структуру (ТФС).

Порядок ТФЕ в типовых функциональных структурах, порядок ТФС в структуре выполняемой задачи (функции) СЧМ определили множество взаимосвязей между ТФЕ структуры процесса взаимодействия оператора и ПАКС посредством ГПИ  $R_s$ . Данное множество представляет собой упорядоченный кортеж множества задач (функций, целей)  $R_{s1}$ , решаемых СЧМ «оператор–ПАКС», множества возможных операций (ТФС)  $R_{s2}$ , выполняемых оператором и ПАКС в ходе решения задачи, множества последовательностей переходов между действиями (операциями) в ходе решения задачи (функции, цели)  $R_{s3}$

$$R_s = \langle R_{s1}, R_{s2}, R_{s3} \rangle.$$

Множество показателей зависимости между элементами структуры процесса взаимодействия, определяющих эффективность и надежность функционирования системы «оператор–ПАКС» —  $Q_s$  представляет собой кортеж вида

$$Q_s = \langle Q_F, Q_{R2}, Q_{R1} \rangle,$$

где  $Q_F$  — множество вероятностей безошибочного выполнения элементарных действий оператором и операций ПАКС;  $Q_{R2}$  — множество показателей функциональной надежности выполнения функциональных структур, к которым относятся множества вероятностей безошибочного взаимодействия оператора с элементом ГПИ, продолжительности этого взаимодействия;

$Q_{R1}$  — множество показателей функциональной надежности выполнения задач (функций, целей) — вероятностей безошибочного выполнения задач (функций, целей) и продолжительность выполнения задач (функций, целей).

На рис. 2 представлена структура процесса взаимодействия оператора и ПАКС.

Целью модели процесса взаимодействия оператора и программно-аппаратного комплекса связи является выявление влияния параметров элементов программного пользовательского интерфейса на функциональную надежность системы «оператор–ПАКС» и вычисление показателя функциональной надежности системы «оператор–ПАКС» с учетом заданных параметров элементов ГПИ.

Исходные данные для модели:

- алгоритм достижения целей (выполнения задач) функционирования системы «оператор – ПАКС» — последовательность задач (структур), которые необходимо выполнить для достижения цели —  $Kk(Ll)$ ;

- состав и структура ГПИ ПАКС —  $E_2$ ;

- база данных показателей  $B_{Ea}, T_{Ea}$ .

Выходными данными модели являются значения частных показателей функциональной надежности выполнения задач, достижения от-

дельных целей функционирования системы и комплексного показателя функциональной надежности системы «оператор–ПАКС».

Ограничения и допущения принятые при моделировании:

- ПАКС применяется по назначению в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, тип ПАКС, его целевое назначение, тип системы связи, в которой используется ПАКС, не оказывают влияние на взаимодействие оператора и ПАКС;

- не учитывается влияние надежности технических средств, ПО и оператора ПАКС–показателей структурной надежности элементов системы «оператор–ПАКС» — вероятность безотказной работы системы = const;

- среди возможных факторов, оказывающих воздействие на функциональную надежность оператора в системе, не учитываются влияния исходных данных  $E_4$  и средовых факторов  $E_5$ .

Таким образом, научная задача заключается в разработке модели  $\mu$  процесса взаимодействия оператора и ПАКС  $S$ , устанавливающей закономерность изменения множества показателей функциональной надежности выполнения функциональных структур  $Q_{R1}$ , множества показателей функциональной надежности выполнения

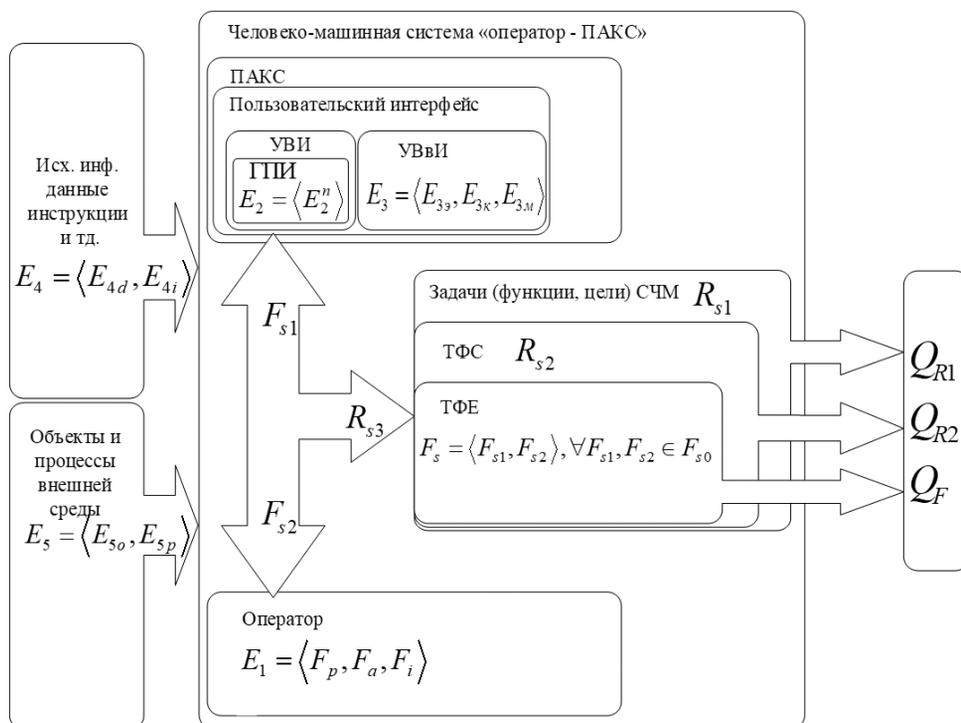


Рис. 2. Обобщенная структура процесса взаимодействия оператора и ПАКС

задач (функций, целей)  $Q_{R2}$  от множества значений параметров элементов графического пользовательского интерфейса  $E_2$ , множества взаимосвязей  $R_s$  между элементами множества  $F_s$  структуры процесса взаимодействия оператора и ПАКС [10]. При этом на значения параметров множеств  $E_2$ ,  $R_s$  наложены условия физической реализуемости, а значения параметров множества  $E_1$  и  $F_s$  неизменны:

$$\mu: \langle S, E_1, E_2, F_s, R_s \rangle \rightarrow Q_{R1}, Q_{R2} \mid E_1 \subseteq \text{const}, \\ E_2 \subseteq E_{2\text{доп}}, F_s = \text{const}, R_s \subseteq R_{\text{строб}}.$$

Для построения математической модели процесса взаимодействия оператора и ПАКС применим математический аппарат полумарковских процессов, а также теория графов и, в частности, вероятностный граф. Это обусловлено тем, что он позволяет учесть, как элемент случайности в выборе поведения (при принятии решения, из-за ошибок в выборе и т.д.) за счет вероятностей, так и элемент случайности в длительности выполнения операций за счет законов распределения.

В соответствии с предложенной ранее структурой, математическое описание процесса взаимодействия оператора и ПАКС осуществляется в несколько этапов. На первом этапе необходимо в соответствии с целью или целями функционирования системы «оператор–ПАКС» составить последовательность задач (функций), которые необходимо выполнить для достижения цели (целей) функционирования системы. Далее каждую задачу (функцию) записать в виде последовательности рабочих блоков — блоков взаимодействия оператора с элементом ГПИ, при невыполнении хотя бы одного из которых задача не будет выполнена, и соответственно не достигнута цель функционирования системы. Иными словами, на основе инструкций по эксплуатации необходимо определить последовательность элементов ГПИ, взаимодействие оператора с которыми обеспечивает выполнение задач. Например, для работы радиостанции Р-166-0,5 в адаптивном автоматизированном режиме необходимо выполнить проверку работы радиостанции в режиме «шлейф», для чего необходимо установить минимальную мощность передатчика. Для выполнения этой задачи оператору необходимо последовательно на-

жать на пункт меню «ДИРЕКТИВЫ», далее из появившегося всплывающего меню нажать «ОБЩИЕ», далее из появившегося всплывающего меню нажать «МОЩНОСТЬ ПРД 10 %».

На втором этапе в соответствии с типовыми функциональными структурами взаимодействия оператора с элементами ГПИ составляется структура (рис. 3, а), граф полумарковского процесса (рис. 3, б), дерево вероятностей (рис. 3, в) и продолжительности взаимодействия (рис. 3, г) оператора с каждым элементом ГПИ этой задачи.

$P_1, P_2, P_3, K$  — это рабочие операции и операция контроля — элементарные действия, которые необходимо обязательно выполнить оператору для осуществления управляющего воздействия, а именно  $P_1$  — поиск элемента на экране дисплея,  $P_2$  — перемещение «мыши» для наведения указателя на выбранный элемент,  $P_3$  — нажатие левой кнопки «мыши». Операция контроля заключается в анализе соответствия результата отклика системы, полученного после нажатия левой кнопки мыши, с необходимым.

Далее выстраивается структура, граф полумарковского процесса, дерево вероятностей и продолжительности взаимодействия оператора с элементами ГПИ задачи в целом на основании составленной ранее последовательности элементов.

Таким образом, составляя структуры, графы процесса, деревья вероятностей и продолжительности взаимодействия оператора с элементами ГПИ в соответствии с алгоритмами деятельности оператора описывается взаимодействие оператора с ПАКС.

На следующем этапе необходимо провести расчеты показателей функциональной надежности взаимодействия оператора и ПАКС при выполнении всех задач (функций), целей системы «оператор–ПАКС». Если построение структуры взаимодействия проводилось «сверху-вниз», то расчет количественных значений функциональной надежности осуществляется наоборот «снизу-вверх». Блок-схема расчета представлен на рис. 4.

Расчет показателей функциональной надежности включает расчеты:

– вероятностей, математического ожидания и дисперсии времени безошибочного выполнения оператором функциональных структур взаимодействия с каждым элементом ГПИ с учетом его параметров;

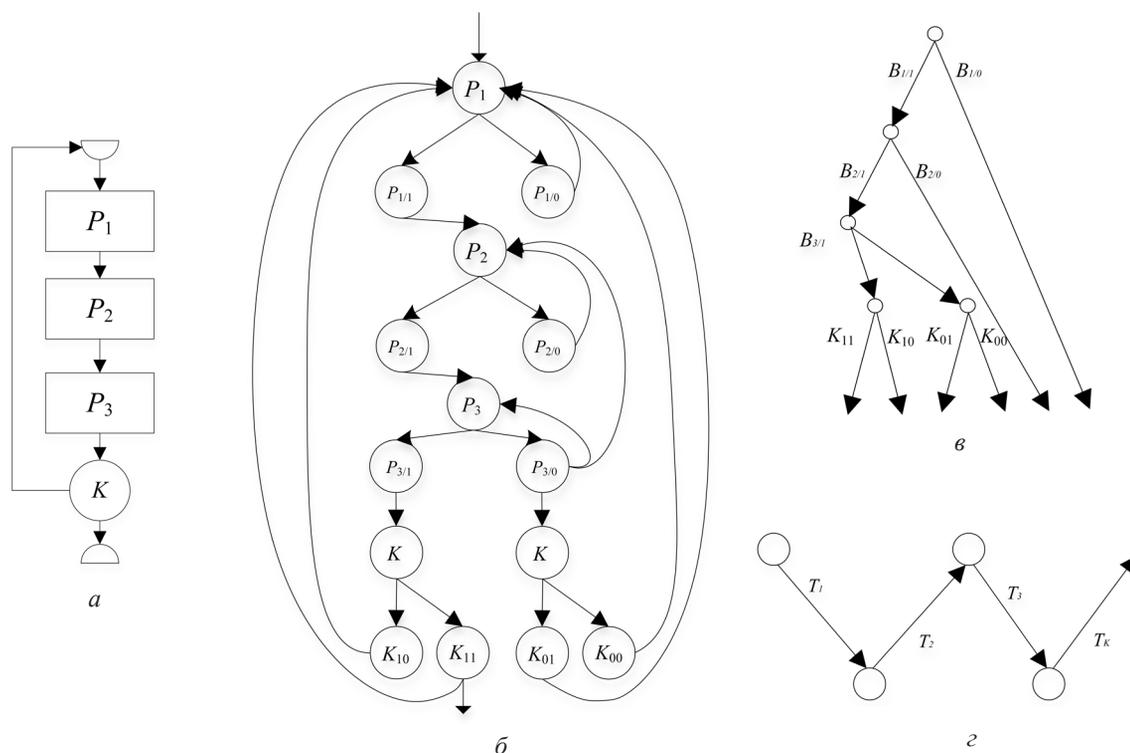


Рис. 3. Структура, граф, деревья вероятностей и продолжительности взаимодействия оператора с элементом ГПИ «меню»

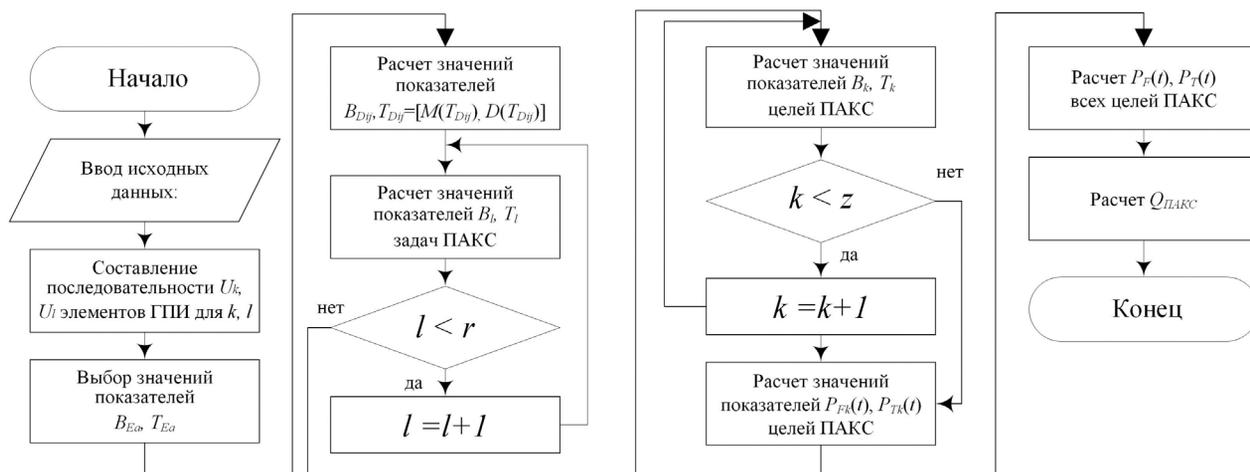


Рис. 4. Блок-схема расчета показателей функциональной надежности системы «оператор–ПАКС»

– вероятностей, математического ожидания и дисперсии времени безошибочного выполнения задач (функций), достижения отдельных целей;

– комплексного показателя функциональной надежности системы «оператор–ПАКС».

Расчет вероятности, математического ожидания и дисперсии времени безошибочного взаимодействия оператора с элементом ГПИ

«меню», структура которого представлена на рис. 3, проводится в соответствии со следующими выражениями:

$$B_{E_2^n}^1 = \frac{B_{123}^1 K^{11}}{1 - (B_{123}^1 K^{10} + B_{123}^0 K^{00})},$$

где  $B_{123}^1 = B_1^1 \cdot B_2^1 \cdot B_3^1$  — вероятность безошибочного выполнения последовательных рабочих

операций (элементарных действий) оператора  $P_1, P_2, P_3$  соответственно;  $B_{123}^0 = 1 - B_{123}^1$  — вероятность выполнения элементарных действий с ошибкой;  $K^{11}$  — вероятность безошибочного признания выполнения элементарных  $P_1, P_2, P_3$  безошибочными, при условии, что они фактически выполнены безошибочно;  $K^{10}$  — вероятность ошибочного признания выполнения элементарных  $P_1, P_2, P_3$  ошибочными, при условии, что они фактически выполнены безошибочно;  $K^{00}$  — вероятность безошибочного признания выполнения элементарных  $P_1, P_2, P_3$  ошибочными, при условии, что они фактически выполнены ошибочно;

$$M(T_{E_2^n}) = (M(T_{123}) + M(T_K))M(L);$$

$$D(T_{E_2^n}) = D(L)(M(T_{123}) + M(T_K))^2 + M(L)(D(T_{123}) + D(T_K)),$$

где  $M(T_{123}) = M(T_1) + M(T_2) + M(T_3)$ ,  $D(T_{123}) = D(T_1) + D(T_2) + D(T_3)$  — математическое ожидание и дисперсия времени выполнения последовательных рабочих операций (элементарных действий) оператора  $P_1, P_2, P_3$  соответственно;  $M(T_K), D(T_K)$  — математическое ожидание и дисперсия времени выполнения операции контроля;  $M(L), D(L)$  — коэффициенты математического ожидания и дисперсии времени взаимодействия оператора с элементом ГПИ, вычисляемые с помощью выражений:

$$M(L) = \frac{1}{1 - (B_{123}^1 K^{10} + B_{123}^0 K^{00})};$$

$$D(L) = \frac{B_{123}^1 K^{10} + B_{123}^0 K^{00}}{(1 - (B_{123}^1 K^{10} + B_{123}^0 K^{00}))^2}.$$

Значения  $B_1^1, M(T_1), D(T_1)$  — вероятности, математического ожидания и дисперсии времени выполнения рабочей операции  $P_1$  — поиска элемента на экране дисплея, зависящие от визуальных и информационных параметров элемента ГПИ;  $B_2^1, M(T_2), D(T_2)$  — вероятности, математического ожидания и дисперсии времени выполнения рабочей операции  $P_2$  — перемещение «мыши» для наведения указателя на выбранный

элемент, зависящие от параметров геометрического расположения элемента ГПИ на экране;  $B_3^1, M(T_3), D(T_3)$  — вероятности, математического ожидания и дисперсии времени выполнения рабочей операции  $P_3$  — нажатие левой кнопки «мыши» выбираются из таблицы исходных данных, сформированной в результате проведения натурального эксперимента.

Расчет вероятностей, математического ожидания и дисперсии времени безошибочного выполнения задач (функций), достижения отдельных целей вычисляется с помощью произведения вероятностей и суммы математического ожидания, и дисперсий времени безошибочного взаимодействия оператора с элементами в соответствии с ранее составленными их последовательностями

$$B_l = \prod B_{E_2^n}^1 | E_2^N \in U_l;$$

$$M(T_l) = \sum M(T_{E_2^n}) | E_2^N \in U_l;$$

$$D(T_l) = \sum D(T_{E_2^n}) | E_2^N \in U_l,$$

где  $l$  — задача функционирования системы «оператор–ПАКС»,  $U_l$  — множество элементов ГПИ, взаимодействуя с которыми обеспечивается выполнение задачи  $l$ .

$$B_k = \prod B_l, M(T_k) = \sum M(T_l), D(T_k) = \sum D(T_l),$$

где  $k$  — цель функционирования системы «оператор–ПАКС».

Далее проводится оценка вероятности безошибочного и своевременного достижения каждой цели функционирования системы «оператор–ПАКС» в соответствии с выражением

$$B_{k \max}(t) = B_k \rightarrow \max | M(T_k) + D(T_k) \leq T_{\text{кдоп}}.$$

Расчет комплексного показателя функциональной надежности системы «оператор–ПАКС», учитывающий влияние параметров элементов ГПИ, проводится с помощью произведения максимальных значений вероятностей безошибочного и своевременного достижения всех целей функционирования системы «оператор–ПАКС»

$$Q_F(t) = \prod_{k=1}^z B_{k \max}(t).$$

### Выводы

Разработанная обобщенная модель позволяет получить количественные, достоверные и объективные сведения влияния структуры графического пользовательского интерфейса на функциональную надежность деятельности оператора ПАКС, которые сложно получить без проведения вычислений (например, методом экспертных оценок). Новизна модели заключается в том, что разработанная модель взаимодействия оператора и ПАКС, в отличие от известных, учитывает влияние параметров элементов графического пользовательского интерфейса на комплексный показатель функциональной надежности системы «оператор–ПАКС» — вероятность безошибочного и своевременного функционирования ПАКС.

### Литература

1. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Госстандарт России. 2015.
2. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. — М.: «Журнал надежность». 2012. 296 с.
3. ГОСТ 26387-84 Система «человек–машина». Термины и определения. — М.: Госстандарт. 1984.
4. ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. — М.: Госстандарт. 1987.
5. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем — Л.: Наука. 1982. 270 с.
6. Федоров В.Г., Федорова С.В., Спицын О.Л. Способ выделения структурно-топологических неоднородностей заданного фрагмента сети связи // I-METHODS. 2019. № 2. Т. 11. С. 1–13.
7. Федорова С.В. Определение многокритериального показателя качества графического интерфейса программно-аппаратного комплекса связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 3. С. 20–27.

8. Семёнов С.С., Фёдоров В.Г., Фёдорова С.В. Классификация пользовательских интерфейсов программно-аппаратных комплексов связи и автоматизированных систем управления военного назначения // Сборник трудов III Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». Том 1. — СПб.: ВАС. 2018. С. 360–366.

### References

1. GOST 27.002-2015 Reliability in engineering. Terms and definitions. — Moscow. Gosstandart Rossii. 2015.
2. Shubinskij I.B. Functional reliability of information systems. Methods of analysis. — Moscow. Journal of Reliability. 2012. 296 p.
3. GOST 26387-84 System «man–machine». Terms and definitions. — Moscow. Gosstandart. 1984.
4. GOST 24.701-86 Reliability of automated control systems. Main provisions. — М.: Gosstandart. 1987.
5. Gubinskij A.I. Reliability and quality of functioning of ergatic systems. — Leningrad. 1982. 270 p.
6. Fedorov V.G., Fedorova S.V., Spicyn O.L. A method for identifying structural and topological inhomogeneities of a given fragment of a communication network. I-METHODS. 2019. № 2. Vol. 11. P. 1–13.
7. Fedorova S.V. Determination of multi-criteria indicator of the quality of the graphical interface hardware-software complex communication // science Intensive technologies in space studies of the Earth. 2021. Vol. 13. № 3. P. 20–27.
8. Semenov S.S., Fedorov V., Fedorova S.V. Classification of user interfaces of software and hardware communication complexes and automated control systems for military purposes. Proceedings of the III Interuniversity scientific and practical conference «Problems of technical support of troops in modern conditions». Vol. 1. — St. Petersburg. VAS. 2018. P. 360–366.