

УДК 65.01.005

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ

©2013 А. Н. Коптев, А. А. Попович

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье поставлена задача моделирования деятельности специалиста по техническому обслуживанию и ремонту и рассмотрены пути её решения с использованием принципов структурно-алгоритмического и других способов описания деятельности.

Иерархическая структура, уровень структуры, метаструктура, операционно-логическая модель, предметно-функциональная модель, структурный анализ, алгоритмизация, структурно-алгоритмический синтез.

Проблема эффективности деятельности специалиста или группы специалистов по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) требует решения целого комплекса задач, одной из которых является задача моделирования этой деятельности. В данной работе рассмотрены пути решения указанной задачи. В качестве общего подхода предлагается реализовать для моделирования принципы структурно-алгоритмического описания деятельности специалиста при обслуживании сложных систем бортового комплекса оборудования, принципы исходного описания субъектов и объектов деятельности, принципы результирующего описания структуры деятельности и принципы процедуры моделирования [2].

Введём ряд основных понятий и операций, используемых при моделировании целеустремлённой деятельности (ЦД).

В рамках общего подхода под структурой ЦД будем понимать конечный ориентированный (или неориентированный) мультиграф, заданный графически или в виде изоморфной матрицы смежности. Иерархическая структура – это структура ЦД, граф которой состоит из включённых друг в друга подмножеств подграфов, а матрица смежности может быть расслоена на матрицы этих подграфов (если подграфы известны).

Дополнительно введём ряд понятий.

Уровень структуры – это некоторый подграф (слой матрицы). Внутри уровня структура может быть «разрезана» на части, или, наоборот, некоторые структуры могут быть соединены в метаструктуру.

Метаструктура – это новая структура, полученная путём синтеза (соединения) исходных структур, называемых относительно метаструктуры её элементами или подструктурами.

Синтез есть путь построения метаструктур. В работе выделяются два способа (две операции) синтеза: обобщение и соединение. Обобщение есть синтез метаструктур более высокого уровня из структур нижележащего уровня. Соединение есть синтез метаструктуры уровня из структур внутри этого уровня.

Равновесной структурой для модели, представленной развёрнутым графом, будем называть структуру, в графе которой полустепени «входов» и «выходов» равны для каждой вершины, а в матрице смежности, соответственно, равны суммы элементов в одноимённых строках и столбцах. О равновесных графах (и матрицах) будем говорить также, что они «сшиты». Равновесная структура, независимо от её сложности, всегда представима в виде одного пути или обобщения нескольких путей, что соответствует концепции после-

довательных действий. Благодаря равно-весности возможен взаимный переход от динамического (алгоритмического) к статическому (структурному) представлению деятельности, и наоборот.

Остановимся на иерархии структурно-алгоритмических моделей профессиональной деятельности специалиста по ТООР в рамках, определённых для алгоритмизации реализуемых ими заданного множества задач.

Пусть в терминах, используемых при алгоритмизации объектов управления, определены \mathbf{I} задач и m режимов работы специалиста по ТООР, причём в силу некоторой неопределённости ситуации решение i -й задачи ($i = \overline{1, \mathbf{I}}$) в g -м режиме ($g = \overline{1, m}$) возможно n способами, так что j -й способ ($j = \overline{1, n}$) выбирается специалистом в зависимости от обстановки. Иначе говоря, i -ая задача в g -м режиме решается специалистом по вероятностному алгоритму, каждая j -ая реализация которого осуществляется с некоторой частотой f_{gij} , определённой на полной группе n несовместных реализаций, и представляет собой достоверную последовательность конечного числа некоторых «элементарных» операций (действий).

Тогда, кодируя операции j -й реализации i -го алгоритма в некотором алфавите символов, можно построить оргграф, вершины которого суть символы действий (или предметов, с которыми совершаются действия, в частности, средств контроля и управления), а дуги между вершинами обозначают «переходы» между операциями. Такому оргграфу однозначно соответствует матрица смежности A_{gij} , строки и столбцы которой обозначают приборы, с которыми взаимодействует оператор в j -й реализации, а элементы a_{pq} характеризуют частоту перехода от действия с прибором p к действию с компонентом системы q ; значения $a_{pq} = 0, 1, 2, \dots$

Пусть для i -й задачи управления в g -м режиме перечислено конечное число n реализаций и для них определены мат-

рицы A_{gij} , а также частоты f_{gij} этих реализаций. Тогда они обобщаются в матрицу B_{gi} , описывающую вероятностный алгоритм решения i -й задачи в g -м режиме:

$$B_{gi} = \bigcirc_{j=1}^n A_{gij} f_{gij}. \quad (1)$$

Аналогично (1) получаются: матрица C_g для g -го режима работы

$$C_g = \bigcirc_{i=1}^{\mathbf{I}} B_{gi} f_{gi} O Z_g, \quad (2)$$

где f_{gi} – частота появления i -й задачи в g -м режиме, Z_g – матрица переходов от задачи к задаче «внутри» g -го режима; и матрица D для работы специалиста при всех m режимах (т.е. для индивидуальных ЦД в целом)

$$D = \bigcirc_{g=1}^m C_g f_g O Z, \quad (3)$$

где Z – матрица переходов от режима к режиму, f_g – частота g -го режима работы специалиста.

В формулах (1) – (3) знак \bigcirc является символом обобщения, где индексы n, l, m – номера обобщаемых графов (матриц).

Обобщение (символом обобщения \bigcirc графов (или их матриц) служит знак

$$\bigcirc_N, \text{ где } i = \overline{1, N} \text{ – номера обобщаемых}$$

графов (матриц)) – это операция получения мультиграфов из графов Бержа или стохастических графов. При обобщении вершины графов объединяются, а частоты линий (дуг) алгебраически суммируются. Отметим, что при объединении графов Бержа частоты дуг тоже суммируются, но по правилу алгебры логики (при обобщении – по правилам обычной алгебры).

Приведённые формулы позволяют различать математические модели на разных структурно-алгоритмических уровнях: реализация алгоритма, алгоритма задачи, режима работы, индивидуальной деятельности и коллективной деятельности, причём каждая из моделей может быть построена в двух специфических

формах – операционно-логической или предметно-функциональной.

Остановимся на математической интерпретации этих форм.

Пусть множество элементарных операций, из которых формируются алгоритмы ЦД, разбито на подмножество сенсорных (афферентных), моторных (эфферентных) и логических (мнемоментальных) операций. Тогда *операционно-логической (ОЛ-) моделью* назовём орграф, вершины которого суть коды сенсорных, моторных и логических операций, а дуги – это импликации, характеризуемые частотой.

В натуральных условиях сенсорные, моторные и логические операции, составляющие алгоритмы ЦД, воплощены в предметные действия с определёнными средствами контроля и управления. Назовём *предметно-функциональной (ПФ-) моделью* ЦД орграф, вершины которого определены предметно в виде материально-технических и людских средств контроля и управления, а дуги, характеризуемые частотой, определены функционально в виде пространственных перемещений специалиста, а также поступающей к нему и исходящей от него информации.

Нетрудно видеть, что ОЛ- и ПФ-модели являются реализациями алгоритма графа деятельности и, кроме того, воплощают в себе некоторые черты алгоритмических и системотехнических моделей. Отметим некоторые существенные различия в тех ролях, которые играют ОЛ- и ПФ-модели в изучении.

ОЛ-модель является в настоящее время единственным средством описания и исследования не существующей ещё деятельности. В этой связи, усложняясь, «развёртываясь» в ходе моделирования, она отображает в себе постепенность накопления знаний о том, какой должна быть будущая, проектируемая деятельность специалиста по ТОиР. Именно для «развёртывания» ОЛ-модели исходным является описание системы управления в терминах входных, выходных, управляющих и возмущающих переменных, обще-

принятое при автоматизации объектов управления. «Развёртывание» ОЛ-модели в сущности состоит в анализе системы и алгоритмизации управления и осуществляется до тех пор, пока не будет в необходимой и достаточной мере вскрыта суть сенсорных, моторных и логических операций, присвоены коды этим операциям как вершинам орграфа с дугами, представляющими импликации, характеризуемые частотами. Полученная таким образом модель является основой для построения алгоритма задачи управления. Таким образом, одна из ролей ОЛ-модели заключена в алгоритмизации управления. На этом основаны и остальные роли ОЛ-модели. Будучи представлена на ряде иерархических уровней, эта модель может использоваться для составления должностных инструкций и инструкций по эксплуатации для разработки тренажёров и обучающих заданий, для контроля правильности и оптимальности действий обучаемого специалиста по ТОиР. Кроме того, ОЛ-модель служит основой для создания информационных моделей на постах централизованного контроля и управления. Для этого она должна быть преобразована в ПФ-модель.

ПФ-модель выполняет все роли ОЛ-модели, но, кроме того, она необходима для решения задачи компоновки оборудования и оценки производительности труда специалиста по ТОиР на рабочем месте, для чего ОЛ-модель непригодна. Дело в том, что информационная модель «материализует» систему параметров и логику управления, отображаемые ОЛ-моделью, в неизоморфную систему конкретных средств контроля и управления, размещённых в реальном пространстве рабочего места. Таким образом, в информационной модели система параметров и логика управления лишь имплицитны, тогда как задача проектирования информационной модели как раз и состоит в том, чтобы по возможности сделать их эксплицитными. На это направлены информационно-логические модели, не имеющие, однако, предметной формы. Но это достигается

посредством ПФ-модели, имеющей и предметную, и логическую форму.

В структурном смысле свойств абстрактной модели профессиональной деятельности ПФ-модель представляет собой определённую «свёртку» ОЛ-модели. Не существует единственного ПФ-представления заданной ОЛ-модели, и наоборот, видимо, может существовать единственная «развёртка» ПФ-модели в ОЛ-модель. Именно этот путь структурно-алгоритмического моделирования ЦД имеет место при изучении и модернизации существующих систем «человек – техника». Описание даётся здесь сначала в виде ПФ-модели, которая затем может быть «развёрнута» в ОЛ-модель [1].

В рамках введённых понятий и определений рассмотрим принципы структурно-алгоритмического моделирования деятельности и две основные формы структурно-алгоритмических моделей: операционно-логическую и предметно-функциональную.

Введённая абстрактная модель ЦД позволяет охарактеризовать поведение специалиста или бригады как малого коллектива, исходя из множества доступных действий – образующих. Понимая поведение как способ выбора и комбинирования действий в некоторой заданной среде, можно построить образы поведения, их структуру, в которых образующими служат действия и образующие A можно рассматривать в качестве пространства действий.

Комбинируя образующие – действия, можно получить в рамках точного формализма модели (конфигурации) поведения. При этом поведение профессионала – специалиста по ТОиР – существенно связано с выбором действий, который является результатом немногих основных принципов [2]. Это позволяет рассматривать конфигурации в пространстве стратегий, не обязательно фиксированных во времени, но желательнее более простого вида, чем конфигурации действий.

Используя этапы анализа, алгоритмизации и синтеза для моделирования ЦД

специалиста по ТОиР, а также функциональный подход на основе анализа структурных частей таких действий, базирующихся на основании образов ЦД, введённых выше, разработана методика синтеза ЦД специалиста, алгоритм построения которой отражён в рамках построения графа Бержа на рис. 1.

Рассмотрим основные понятия и определения процедуры моделирования.

Прежде всего, остановимся на определении основных этапов моделирования ЦД специалиста по ТОиР. Процедура моделирования, в соответствии с выше сформированным подходом, может быть расчленена на три этапа, основная направленность которых: структурный анализ, алгоритмизация и структурно-алгоритмический синтез. Определим цели и задачи каждого из этих этапов, составляющие их операций, а затем рассмотрим процедуры, реализуемые на каждом из этих этапов.

1. Структурный анализ. Основная цель этого этапа состоит в вычленении по возможности непротиворечивым и удобным образом структурных уровней коллективных и индивидуальных ЦД, режимов работы и задач, решаемых специалистом по ТОиР при выборе действий, в основу которых положены определённые принципы, связанные с определёнными операциями.

2. Алгоритмизация. Основная цель этапа – получить в матричной и графической форме вероятностные алгоритмы для множества задач, предписываемых специалистам по ТОиР. Процедура этапа состоит из ряда операций: 1) построение алгоритма задачи в форме графа Бержа; 2) перечисление реализаций алгоритма; 3) взвешивание реализаций; 4) обобщение реализаций; 5) нормирование графа алгоритма.

3. Структурно-алгоритмический синтез. Основная цель этапа – синтез алгоритмических структур, образованных совокупностью последовательно выполняемых алгоритмов задачи. Здесь осуществляется соединение структур ниже-

лежащих уровней в метаструктуры выше-лежащих уровней. Соответственно, выполняется ряд операций: 1) синтез структуры режима работы; 2) синтез структуры индивидуальных ЦД; 3) синтез структуры коллективных ЦД; 4) симметризация и ранжирование матриц, описывающих структуры ЦД [3].

Структурный анализ, как указывалось, представляет собой первый этап процедуры моделирования ЦД специалиста по ТОиР. Основная цель структурного анализа – иерархическое структурирование ЦД, т.е. вычленение непротиворечивым и удобным образом коллективных и индивидуальных действий, режимов работы и задач, решаемых специалистом по ТОиР в каждом из режимов.

При этом последовательно выполняются следующие операции анализа:

1. Выделение круга обязанностей для каждого из специалистов по ТОиР. Особо отмечаются обязанности, которые, смотря по обстоятельствам, могут выполняться то одним, то другим из специалистов по ТОиР.

2. Выделение режимов работы. При этом можно основываться либо на «технологическом» принципе (например, подготовка, пуск, выключение и т.п.), либо на специфике условий (например, нормальный, аварийный и т.п.), либо на особенностях целевой функции специалиста по ТОиР (например, поиск, обнаружение, готовность, слежение и т.д.).

3. Выделение подмножеств задач, решать которые предписывается каждому из специалистов по ТОиР в каждом режиме работы. При этом под задачей понимается некоторая ситуация, побуждающая специалиста по ТОиР к активным действиям, объединенным общей целью. Например, произошло отклонение параметра от допустимых пределов. От специалиста по ТОиР требуется, воздействуя на параметр имеющимися в его распоряжении средствами, вернуть параметр к норме.

Алгоритмизация является вторым этапом моделирования ЦД и занимает

промежуточное положение между структурным анализом и структурным синтезом, так как включает черты (и операции) обоих. Действительно, основная цель алгоритмизации – получить в матричном (и графовом) описании вероятностные алгоритмы для всего множества задач, предписываемых специалисту по ТОиР во всех режимах работы. С этой целью сначала надо построить и проанализировать алгоритмы решения задач, перечисляя и взвешивая все их реализации, а затем из взвешенных реализаций синтезировать (путём обобщения реализаций) вероятностные алгоритмы задач.

Процедура алгоритмизации может быть раскрыта в ряде следующих операций:

1. Построение алгоритма задачи в форме графа Бержа. Пусть задача специалиста по ТОиР состоит в изменении некоторого параметра по сигналу, поступающему с командного устройства. Специалист по ТОиР управляет параметром с помощью какого-либо органа управления и контролирует значения параметра по некоторому измерительному прибору (индикатору). Для построения графа алгоритма задачи выполняется следующее.

А) Выделяются «сенсорные», «моторные» и логические действия специалиста по ТОиР со средствами контроля и управления. «Сенсорные» действия: «воспринять сигнал командного устройства»; «воспринять значение параметра с измерительного прибора». «Моторное» действие – манипулирование с органом управления (ОУ). Логические действия: 1) если надо выполнять эту задачу, то появится сигнал командного устройства; 2) если появится сигнал командного устройства, то манипулировать с ОУ, изменяя значение параметра; 3) если воздействовал на ОУ, то изменились значения параметра на индикаторе (И); 4) если необходимое изменение значений на И не достигнуто, то продолжать воздействия на ОУ; 5) если необходимое изменение значения на И достигнуто, то задача выполнена.

Б) Средства контроля и управления, с которыми выполняются «сенсорные» и «моторные» действия, изображаются в виде вершин графа и нумеруются в любом порядке. Пусть «1» – это командное устройство, «2» – измерительный прибор, «3» – орган управления.

В) Логические действия, как следует из приведённых формулировок, – это, во-первых, действия опредмеченные (действия с индикаторами и органами управления), а во-вторых, – это импликации, упорядочивающие попарно «сенсорные» и «моторные» действия. Поэтому логические действия изображаются стрелками – дугами графа. Каждая дуга в графе инцидентна двум вершинам: из одной исходит, а в другую входит (направление показано стрелкой). Так что каждому логическому действию соответствует элемент орграфа алгоритма. Перечисленным выше пяти логическим действиям также соответ-

ствуют пять элементов графа, которые изображены на рис. 1.

Заметим, что первому и пятому логическим условиям тоже инцидентны по две вершины, одна из которых принадлежит рассматриваемой задаче (вершины «1» и «2»), а другая – какой-либо другой из задач.

Поскольку на уровне алгоритма задачи все задачи рассматриваем изолированно [3], то неизвестную (с точки зрения рассматриваемой задачи) вершину графа другой задачи, из которой исходит дуга, входящая в вершину «1», условимся обозначать *вх*. Также условимся неизвестную вершину графа другой какой-то задачи, в которую будет входить дуга, исходящая из «нашей» вершины «2», обозначать всегда *вых*. *Вх* и *вых* надписываются над «зависающими» дугами графа алгоритмизуемой задачи, как на рис. 1, и в дальнейшем (на этапе синтеза) послужат для соединения алгоритмов задач друг с другом.

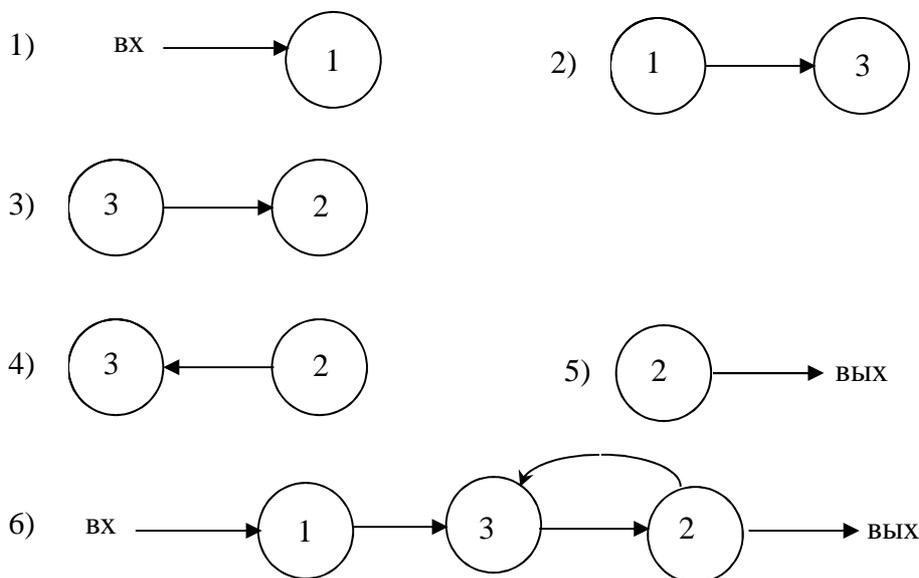


Рис.1. Построение алгоритма задачи в форме графа Бержа
 1) – 5) – элементы графа, соответствующие логическим действиям;
 6) – граф Бержа как объединение элементов

Г) Полученные элементы графа объединяются в граф Бержа, изображающий в обычной форме алгоритм задачи, как показано на рис. 1.

Если записать эту форму символически, то получим

$$\begin{matrix} 1 & 2 & & 2 & 1 \\ \downarrow & "1" & \downarrow & "3" & "2" & q & \uparrow & \omega & \downarrow, \end{matrix}$$

где

$$q = \begin{cases} 1 - \text{изменение достигнуто, и тогда задача решена,} \\ 0 - \text{изменение не достигнуто, переход обратно к "3";} \end{cases}$$

ω – всегда тождественно ложное условие, символизирующее возвращение в исходное состояние (прекращение работы).

2. Перечисление реализаций алгоритма. Алгоритм является вероятностным, если в его графе имеется хотя бы одно разветвление (т.е. из одной вершины выходит более одной дуги в другие вершины). Вершину, служащую началом разветвления, принято рассматривать как логический оператор, который принимает значения, имеющие смысл частоты исходящих дуг. Однако непосредственно из графа алгоритма, построенного в предыдущей операции, не следует никакой информации о частоте исходящих дуг. Такую информацию можно получить, основываясь на том очевидном обстоятельстве, что частота есть функция исходов опыта. Но исходы опыта можно перечислить априори как возможные реализации

общего алгоритма, полученные по комбинациям логических действий.

3. Взвешивание реализаций. Заключается в умножении j -й реализации на её вероятность P_j , причём для n реализаций $\sum_{j=1}^n P_j = 1$.

4. Обобщение реализаций (построение вероятностного алгоритма). Эта операция по существу принадлежит совместно и этапу алгоритмизации, и этапу синтеза, так как обобщение реализаций и вероятностный алгоритм – это есть синтез алгоритма по реализациям. Операция обобщения является основой для синтеза стохастических алгоритмических структур. Сложные структуры обобщаются в матричной форме.

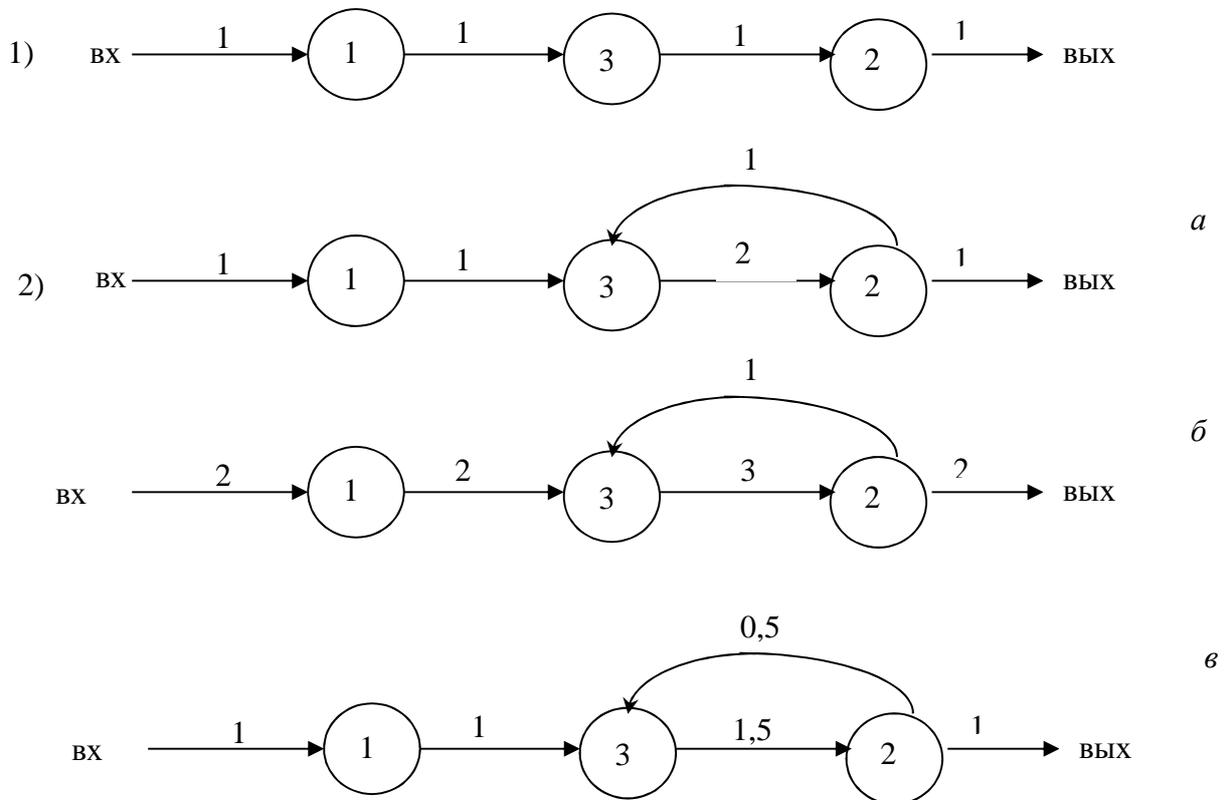


Рис. 2. Обобщение взвешенных реализаций и нормирование:
 а – невзвешенные реализации: 1) элементарный путь; 2) сложный путь с однократным циклом ($k=1$);
 б – взвешенный граф алгоритма, обобщенный по реализациям 1) и 2);
 в – нормированный граф алгоритма

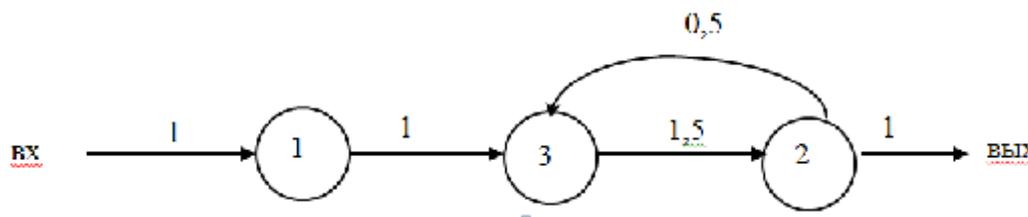


Рис.3. Варианты вероятностного алгоритма при двух равновероятностных реализациях

Обобщение по графам реализаций сводится к следующему: а) объединяются вершины графа; б) все «одноимённые» дуги суммируются по их весам; в) проверяется равенство полустепенных входов и выходов в каждой вершине. Например, обобщение двух реализаций на рис. 2 приводит к варианту вероятностного алгоритма, показанному на рис. 3.

5. Нормирование графа алгоритма. Эта операция выполняется лишь при обобщении невзвешенных, но равновероятных реализаций. Она заключается в том, что частота каждой дуги графа делится на n . На рис. 2 приведён нормированный граф варианта алгоритма, который был получен путём равновероятного взвешивания (рис. 3). Можно видеть, что оба пути обобщения равновероятных реализаций приводят к одному графу вероятностного алгоритма.

Структурный синтез представляет собой третий этап моделирования ЦД, основная цель которого – построение ме-

таструктур из структур путём операций соединения. Операции, которые здесь целесообразно выделить, состоят в синтезе моделей на уровнях: режима работы, индивидуальных и коллективных ЦД.

Библиографический список

1. Крылова, В.Ю. Нормативные модели принятия решений при вероятностном выборе [Текст] / В.Ю. Крючков // Математическая психология: теория, модели, методы – М.: Наука, 1981. – С. 39-46.
2. Кукушкин, Ю.А. Человеческий фактор в экспертно-консультативных системах для проектирования авиационной техники, обучения и подготовки лётчиков [Текст] / Ю.А. Кукушкин, В.М. Усов, С.Л. Данилов // Вестник. – 1997. – №1.
3. Моррис, У.Т. Наука об управлении. Байесовский подход [Текст] / У.Т. Моррис. – М.: Мир, 1971. – 304 с.

DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL AND ALGORITHMIC MODEL OF PUR-POSEFUL ACTIONS OF EXPERTS IN MAINTENANCE AND REPAIR

©2013 A. N. Koptev, A. A. Popovich

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper deals with the statement and ways of solving the problem of modeling the activity of an expert in maintenance and repair using the principles of structural and algorithmic as well as other ways of describing the activity.

Hierarchical structure, structure level, metastructure, operational and logical model, subject and functional model, structural analysis, algorithmization, structural and algorithmic synthesis.

Информация об авторах

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: eat@ssau.ru. Область научных интересов: организация производства.

Попович Анастасия Алексеевна, аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: tikhonova.a.a@mail.ru. Область научных интересов: организация производства.

Koptev Anatoly Nikitovich, doctor of technical science, professor and head of the department of aircraft maintenance, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: eat@ssau.ru. Area of research: industrial engineering.

Popovich Anastasiya Alekseevna, postgraduate student of the department of aircraft maintenance, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: tikhonova.a.a@mail.ru. Area of research: industrial engineering.