

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

А.А. ТИХОНОВА

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

«Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программе высшего образования по направлению 23.03.01 Технология транспортных процессов

САМАРА
Издательство Самарского университета
2016

УДК 656.7(075)
ББК 39.5я7
Т 464

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А. Н. К о п т е в,
д-р техн. наук, проф. В. Ф. П у т ь к о

Тихонова, Анастасия Алексеевна

Т 464 **Структурно-алгоритмическое моделирование деятельности специалистов по обслуживанию и эксплуатации воздушных судов: учеб. пособие / А.А. Тихонова.** – Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. – 52 с.

ISBN 978-5-7883-1086-2

Рассмотрены основные вопросы моделирования работы сложных человеко-машинных систем, в частности систем обслуживания и эксплуатации воздушных судов гражданской авиации. Определён круг методов моделирования, пригодных для данных систем. В качестве основного избран метод структурно-алгоритмического анализа и синтеза целенаправленной деятельности.

Учебное пособие предназначено для студентов направления «Технология транспортных процессов».

УДК 656.7(075)
ББК 39.5я7

ISBN 978-5-7883-1086-2

© Самарский университет, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Состояние теории и практики качественной оценки человеческого фактора	6
2 Состояние теории и практики моделирования поведения специалиста в малых коллективах	9
2.1 Основные понятия и определения.....	10
2.2 Классификация моделей и методов моделирования	16
2.3 Состояние теории и практики системотехнического моделирования управления технологическими процессами	21
2.4 Классификация моделей для проектирования технологических операций управления состоянием сложных объектов машиностроения.....	25
3 Структурное моделирование	30
4 Структурно-алгоритмическое моделирование целенаправленной деятельности специалиста систем обслуживания и эксплуатации ВС	36
4.1 Структурный анализ.....	37
4.2 Алгоритмизация целенаправленных действий специалиста	38
4.3 Структурно-алгоритмический синтез	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	51

ПРЕДИСЛОВИЕ

С развитием авиационной техники растет роль человеческого фактора (ЧФ). Поэтому наряду с совершенствованием техники должны идти в ногу и совершенствование методов и способов подготовки авиаспециалиста в области ЧФ.

В последние годы статистика тяжелых авиационных происшествий упорно из года в год убеждает, что порядка 70-80% из них так или иначе связано с ЧФ. Эти данные свидетельствуют о том, что человеческие качества и проблемы в области взаимодействия, возникающие во время обслуживания и эксплуатации воздушных судов (ВС), представляют критическую и долговременную проблему. Вот почему так необходим поиск решения для этих давних и трудных проблем, связанных с ЧФ.

Огромную значимость для проведения подготовки специалистов авиатранспортной системы имеет разработка новых средств обучения, имеющих в своей основе интеллектуальные системы. Разработка таких средств обучения, а также выявление возможных негативных проявлений ЧФ на всех этапах обслуживания и эксплуатации ВС, требует современных подходов к моделированию деятельности специалистов.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс XX века привёл человечество к тому, что проблемы обеспечения безопасности вышли на первое место практически во всех сферах деятельности и стали острой необходимостью. Данная проблема коснулась деятельности и на воздушном транспорте. Основной задачей гражданской авиации как части транспортной системы страны является безопасное и регулярное выполнение необходимого объема авиаперевозок. В авиации на первый план выдвигается проблема обеспечения безопасности воздушного транспорта.

Компонентами безопасности воздушного транспорта являются такие составляющие, как безопасность полётов, авиационная безопасность, экологическая безопасность, безопасность труда и жизнедеятельности. Авиационная безопасность обеспечивает безопасность жизни и здоровья пассажиров и членов экипажей путём защиты гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Безопасность полётов обеспечивает безопасность жизни и здоровья пассажиров и членов экипажей путём совершенствования авиационной техники и квалификации авиационного персонала.

Именно поэтому с целью исключения негативного влияния человеческого фактора на состояние безопасности полётов первоочередное внимание уделяется профессиональной подготовке специалистов, занимающихся обслуживанием и эксплуатацией воздушных судов, правильной организации технологических процессов.

Для оценки влияния процессов обслуживания на обеспечение безопасности полётов необходимо проанализировать современное состояние теории и практики качественной оценки человеческого фактора. Для детального описания влияния специалиста по обслуживанию или эксплуатации на безопасность полётов необходимо разработать модель его действий. Для разработки такой модели в данном пособии используется методика структурно-алгоритмического моделирования целенаправленной деятельности.

1 СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Принципиально новые возможности при анализе авиационных событий раскрываются в случае использования методологии человеческого фактора (ЧФ), основы которой начали закладываться в 1920-1930 гг. По мнению ряда исследователей, предрасположенность к несчастным случаям не только обусловлена индивидуально - психологическими качествами человека, но и выступает как результат соединения этих качеств с определенными характеристиками техники, подготовкой специалистов и условиями деятельности авиационного производства.

В 30-е годы XX века сформировалась научная методология, определяющая необходимость совместного изучения человеческих и технических составляющих каждого авиационного инцидента, т.е. комплексного исследования качеств и свойств личности, особенностей деятельности и условий труда.

Это направление в 1940-1950 годы получило дальнейшее развитие применительно к обеспечению эффективности и безопасности полетов в работах В.В. Козлова, А.Г. Шишова, А.М. Пиковского, В.А. Попова.

Новый импульс в своем развитии методология ЧФ получила в 1960-1970 годы, благодаря работам Н.Д. Заваловой, В.А. Пономаренко.

Последние подходы к ЧФ сформулированы на базе модели взаимодействия Эдвардса-Хоукинса. Предложенное профессором Эдвардсом определение гласит, что «человеческий фактор имеет целью оптимизировать взаимоотношения между людьми и их деятельность путем систематического применения знаний о человеке, интегрированных рамками конструирования систем».

Разработанная Эдвардсом и позднее усовершенствованная модель взаимодействий в человеко-машинных системах (модель SHEL) используется для наилучшего понимания концепции ИКАО по ЧФ (рис. 1).

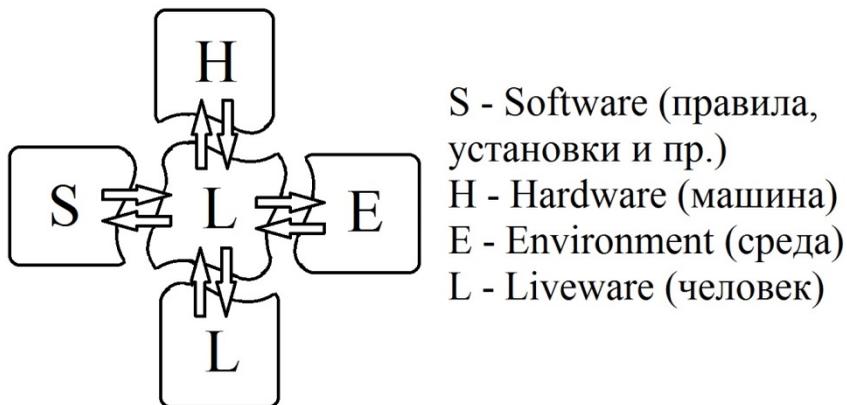


Рис. 1. Модель взаимодействий Эдвардса-Хоукинса

Она нацеливает на исследование факторов, которые воздействуют на оператора авиатранспортной системы (специалиста по техническому обслуживанию и ремонту, диспетчера организации воздушного движения, члена экипажа ВС), акцентируя внимание на его взаимодействие с разными компонентами системы.

Аббревиатура расшифровывается так:

S - Software – правила, символы. Означает обмен информацией между специалистом и поддерживающими системами, куда входят руководства, требования эксплуатационных документов, контрольно-опросные листы и т.д.

H – Hardware – машина. Включает любые физические и психические взаимодействия между человеком-оператором и машиной, которые определяются конструктивными ограничениями, конструкцией и расположением управления, приборов, кресел и т.д.

E - Environment – обстановка, окружающая среда. Сюда входят факторы, определяющие личностный комфорт: температура, влажность, освещенность, шум, вибрация, характеристики газовой среды и т.д.

L – Liveware – человек, субъект. Характеризует природу взаимодействия и связи в коллективе, такие как голосовые (фразеология, содержание речи, языковой барьер, обратная связь), невербальные (неречевые) ключевые сигналы, трудовые отношения.

Неровные края между компонентами в модели символически отражают тот факт, что взаимодействие между специалистами и этими компонентами имеет исключительно важное значение и любое рассогласование между ними может привести к ошибке.

Человеческий элемент, или Liveware, является базовым компонентом модели человеческого фактора SHELL. Остальные компоненты необходимо сопоставлять и адаптировать к этому компоненту.

Основные факторы, влияющие на человеческий элемент, представлены на рис. 2 с помощью модели Хелмрича.

В целом роль ЧФ в обеспечении безопасности полетов огромна. Это обусловлено тем, что в авиации все процессы по обеспечению, подготовке и выполнению полетов осуществляются людьми. Они выполняют пилотирование, управление воздушным движением, техническое обслуживание, загрузку и выгрузку перевозимых объектов груза и т.д.

2 СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТА В МАЛЫХ КОЛЛЕКТИВАХ

Человеческие взаимодействия обладают очень широким диапазоном влияния на коллектив и их членов – начиная от возможности изменения среды обитания и кончая воздействием на психическое состояние. Построить общую модель управления, учитывающую человеческие взаимоотношения в их многообразии, без разбиения всего процесса на блоки и введения целого ряда упрощающих моментов, крайне сложно.

ЧФ нельзя формализовать и включать в аппарат системного анализа, не абстрагируясь от деталей и не внося определенные ограничительные рамки.

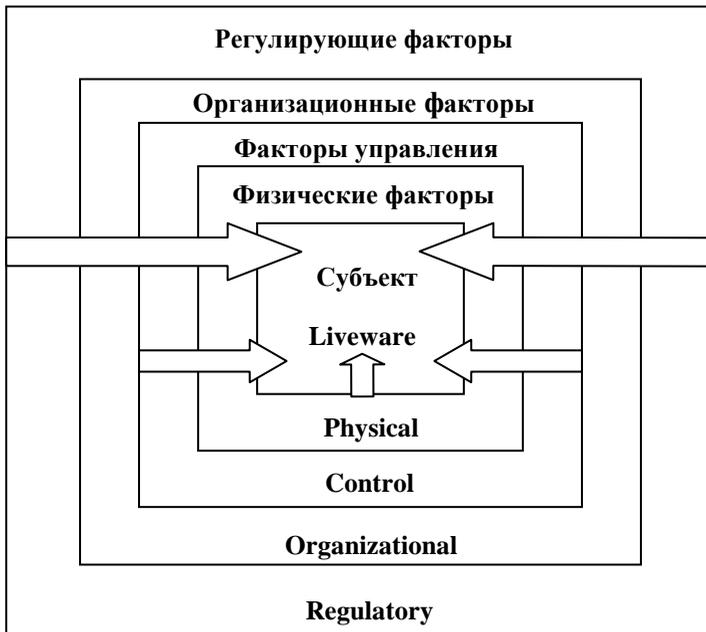


Рис. 2. Модель Хелмрича

2.1 Основные понятия и определения

Первое, что здесь представляется важным, это рассмотрение ЧФ не вообще, а относительно степени достижения j -й цели системы, причем конкретным человеком, находящимся на i -м месте в иерархии контроля управления.

Второе – учет определенной этапности решений, принимаемых специалистом в процессе контроля и управления, т.е. исходя из двух разных форм проявления ЧФ: на этапе формирования цели (выбор компромиссной цели) и на этапе самого управления. Соответственно в дальнейшем будем говорить о ЧФ первого и второго рода. Кроме основного действия ЧФ в контуре контроля и управления он будет еще накладывать определенный фон на всю деятельность коллектива. Характер фона зависит от условий комфортности его работы и среды обитания, а также рациональности использования его внутреннего ресурса. Это будут проявления ЧФ третьего и четвертого рода.

Применительно к ЧФ первого рода необходимо выделение того главного, что будет определять личную мотивационную установку человека, которая может конкурировать с j -й целью системы. Таковую установку, формируемую под воздействием потребностей, будем представлять в виде j -й личной цели человека. Заметим, что вообще личных целей у человека может быть много и j -я личная цель – это своего рода их интегральная проекция на пространство, в котором задана j -я цель системы.

Возможны три предельных случая отношений между j -й целью системы и j -й личной целью человека: j -я личная цель отсутствует, т.е. личные цели человека никак не проецируются на пространство, в котором расположена j -я цель системы; цели совпадают; между целями имеется противоречие (ориентация человека на свою j -ю личную цель вызовет негативные последствия в системе). В первых двух случаях создаются условия для принятия человеком в качестве руководства при управлении объектом j -й цели системы, а в последнем – он стоит перед выбором компромиссного решения.

Многочисленные причины, которые оказывают влияние на принятие компромиссного решения, можно свести только к внутренним и внешним стимулам. Внутренние стимулы в основном будут определяться двумя составляющими: верой человека в то, что цели системы имеют приоритет по сравнению с его личной целью, и самосознанием, т.е. сознанием человеком того, что он должен отдавать приоритет целям системы. Внешние стимулы, вынуждающие человека идти на компромисс в сторону цели системы, имеют три основные составляющие: материальные и моральные поощрения, материальные и моральные наказания и эмоционально-личностное давление на рассматриваемого человека со стороны внешней среды и других людей, участвующих в процессе управления.

Фактически внешние и внутренние стимулы здесь направлены на уменьшение возможного негативного проявления ЧФ первого рода. Но возможны ситуации, когда эти стимулы будут иметь противоположную направленность: например, если специалист за счет своего высокого интеллекта приходит к выводу о том, что с точки зрения интересов системы следует руководствоваться не j -й целью системы, а какой-то другой d -й целью, и соответственно на это направлены внутренние стимулы. В то же время руководитель и коллектив формируют стимулы, направленные на поддержку j -й цели системы. Здесь отражено позитивное проявление ЧФ первого рода.

Поскольку j -я цель системы может быть оптимальной для системы, а может и не быть таковой (имеется какая-то другая d -я оптимальная цель), следует выделить три позиции руководителя или коллектива:

- «консервативная», когда поддерживается j -я цель системы, хотя оптимальной является d -я цель;
- «прогрессивная», когда поддерживается оптимальная d -я цель системы, хотя задана j -я цель системы;
- «ординарная», когда поддерживается заданная d -я цель системы и не делается проверка ее на оптимальность.

Следовательно, ЧФ первого рода применительно к специалисту будем определять, как имеющий ij-ориентированность.

Проявление ЧФ первого рода будет иметь свою специфику в зависимости от структуры управления, позиций, занимаемых разными людьми в этой структуре, и т.д., но во всех случаях определяющими будут негативные и позитивные последствия, вызванные тем, что человек в качестве руководства для управления выбирает цель, отличающуюся от той, которая ему задана.

Переходя к определению ЧФ второго рода, будем полагать, что, выбрав j-ю цель управления, специалист на рассматриваемом временном интервале ее уже больше не меняет, а всякие внешние факторы и воздействия на него со стороны других людей могут лишь повлиять на его способности (качественные и временные) формировать полезную информацию для принятия решения об управлении. Здесь для оценки ЧФ можно использовать такие показатели, как потеря части полезной или вредной информации, дополнительные задержки или, наоборот, опережения в процессе преобразования информации. Судить о работе специалиста с точки зрения негативного или позитивного проявления ЧФ второго рода можно, только если для i-го места, которое занимает специалист в иерархии управления, существуют нормированные требования к процессу переработки информации.

Детализируя различные формы проявления ЧФ второго рода, следует выделить три их группы по следующим признакам: все отмеченные выше показатели имеют негативный характер; все показатели позитивны; наблюдается смешение – часть показателей негативна, а часть позитивна.

ЧФ третьего рода для основного процесса контроля управления является как бы фоновым, поскольку связан с комфортностью обстановки для специалиста. Этот фон в ряде случаев может играть решающую роль и обуславливаться причинами, которые можно разбить на три основные группы:

– психологическая комфортность рабочей обстановки (формальные, традиционные и межличностные отношения, порождающие человеческие взаимодействия, подкрепляемые различными стимулами);

– общее психофизиологическое состояние, определяемое средой обитания (семейные, жилищные и другие условия личной жизни);

– информационная комфортность рабочего места (программные и аппаратные средства переработки информации и ее отображения специалисту).

Названные причины могут оказывать как негативное, так и позитивное влияние на проявление ЧФ первого и второго рода.

ЧФ четвертого рода связан с внутренним ресурсом. Каждый человек имеет определенный ограниченный внутренний ресурс, наличие которого – необходимое условие выполнения им полезной для системы работы. Отсюда характер проявления ЧФ первого и второго рода также будет находиться в зависимости от величины этого ресурса и его рационального использования. Внутренний ресурс в основном складывается из трех основных компонентов: невозможного временного ресурса и возможного в ограниченных пределах ресурса здоровья, который, в свою очередь, состоит из психического ресурса и физического ресурса.

Таким образом, негативным или позитивным проявлением ЧФ четвертого рода ij -ориентированности будем называть свойство специалиста, находящегося на i -м месте иерархии контроля и управления, при осуществлении им контроля и управления по заданной j -й цели изменять свои проявления ЧФ первого и второго рода в зависимости от его внутреннего ресурса и его загрузки, которая включает в себя как полезную работу, так и отбор ресурса на личные, общественные и прочие дела.

В заключение дадим общее определение ЧФ в процессах контроля и управления.

Человеческий фактор ij -ориентированности – это относительный показатель работы человека (негативные и позитивные

отклонения от задания, от норм и т.д, оцениваемые с точки зрения интересов системы), находящегося на i -м месте в иерархии контроля и управления, при осуществлении им контроля и управления по заданной j -й цели в зависимости от действия различных внешних и внутренних стимулов, комфортности обстановки, наличия у человека достаточного внутреннего ресурса и отбора части этого ресурса на посторонние дела.

Данные выше определения четырех типов ЧФ позволяют связать все проявления ЧФ в один комплекс и использовать для их количественной оценки как существующие, так и вновь создаваемые методы системного анализа.

Проводимое в связи с этим исследование организационных систем и протекающих в них процессов путём наблюдения за ними или проведения экспериментов для выявления интересующих исследователя свойств и характеристик систем, а также закономерностей протекающих в них процессов, сопряжено со значительными трудностями. Это обусловлено сложностью исследуемых объектов, большими материальными и временными затратами на наблюдение и проведение эксперимента, ненаблюдаемостью многих параметров и характеристик систем и процессов. Кроме того, проведение эксперимента на системах в отдельных случаях оказывается невозможным, так как связано с разрушением и уничтожением исследуемой системы либо с нанесением невосполнимого ущерба отдельным личностям и коллективам людей. Поэтому основным методом изучения организационных систем и протекающих в них процессов, в том числе процессов управления, является моделирование.

Моделирование – это метод изучения сложного объекта путём его замены более удобным для исследования объектом, сохраняющим существенные черты изучаемого объекта, а также процесс построения замещающего объекта.

Модель – это объект любой природы, который, отображая или воспроизводя исследуемый объект, способен замещать его так, что

изучение замещающего объекта позволяет получить новую информацию о замещаемом объекте.

Замещаемый при моделировании объект называют оригиналом. Сущность моделирования состоит в замещении оригинала моделью, исследовании модели и переносе полученных при исследовании результатов на оригинал. Такой перенос становится правомерным только при соблюдении определенных условий, к которым относится наличие у оригинала и модели сходства, подобия или аналогии.

Говорят, что объекты сходны между собой, если у них существует хотя бы один общий признак. При сходстве объектов одной физической природы говорят о подобии, а при сходстве объектов различной физической природы – об аналогии этих объектов. Моделирование можно рассматривать как разновидность и дальнейшее развитие метода аналогии.

При установлении между оригиналом и моделью аналогии, т. е. сходства данных объектов по каким-либо свойствам, признакам, объективным основанием для логического переноса признаков с одного объекта на другой служит то, что свойства любого объекта тесно взаимосвязаны между собой, причём изменение любого существенного признака, как правило, сказывается и на других признаках. Поэтому можно предполагать, что если два объекта обладают одинаковой совокупностью определенных свойств, а у одного из объектов выявлены дополнительные свойства, то и другой объект обладает этими же свойствами.

Общим для всех выводов по аналогии является то, что в каждом случае непосредственному исследованию подвергается один объект, а вывод делается для другого, что определяется в самом общем смысле как перенос информации с одного объекта на другой.

Следует отметить, что, как бы ни было велико сходство между оригиналом и моделью, всегда между ними имеется более или менее существенное различие. Поэтому выводы по аналогии носят не абсолютно достоверный, а более или менее приблизительный, вероятностный характер и всегда нуждаются в дополнительной

проверке. Степень достоверности этих выводов зависит от уровня сходства, подобия или аналогии между оригиналом и моделью. Различие в уровне сходства может быть отражено с помощью логико-математических понятий изоморфизма и гомоморфизма, определяющих степень одинаковости, подобия объектов.

2.2 Классификация моделей и методов моделирования

Одним из основных признаков, по которым проводится классификация моделей и методов моделирования, являются средства моделирования или способ реализации модели. По этому признаку моделирование подразделяется на материальное и идеальное (рис. 3).

При материальном моделировании моделями служат материальные объекты, отражающие в той или иной степени свойства объектов моделирования. Модели в этом случае либо строятся исследователем, либо отбираются им в окружающем мире. В зависимости от степени сходства модели и оригинала различают три основных вида материального моделирования: геометрическое, физическое и аналоговое.

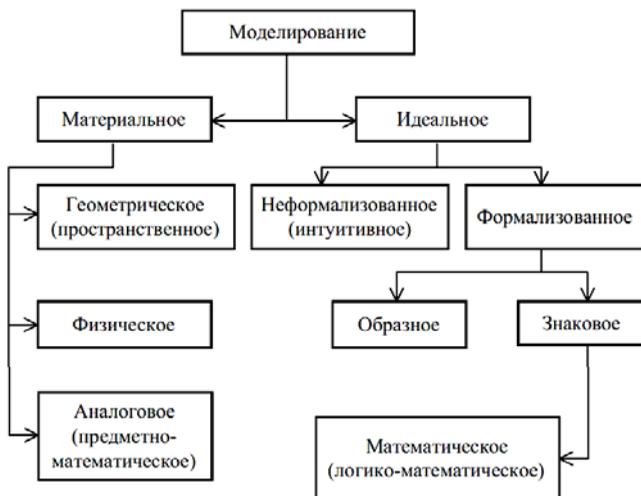


Рис. 3. Классификация моделей и методов моделирования по средствам моделирования

При геометрическом моделировании в качестве модели используются материальные объекты, геометрически подобные оригиналу (макеты, муляжи, копии и т. д.), воспроизводящие пространственно-геометрические характеристики оригинала безотносительно к его физической природе. В основу построения геометрических моделей положено определение подобия в геометрии, согласно которому два объекта считаются геометрически подобными, если можно добиться их совмещения с помощью линейных преобразований. В управлении геометрические модели находят незначительное применение.

При физическом моделировании моделями служат материальные объекты, подобные оригиналу и имеющие с ним одинаковую физическую природу. Основу физического моделирования составляют теория подобия и теория размерностей. Физические модели широко применяются в технике при разработке и проектировании технических систем. В первую очередь это относится к таким областям техники, как гидротехника, самолёто- и кораблестроение.

Аналоговое моделирование основывается на наличии сходства между объектами различной физической природы, т. е. аналогии между моделью и оригиналом. Чаще всего при аналоговом моделировании используют тождественность математического описания процессов в оригинале и модели. При такой трактовке аналоговая модель представляет материальную систему, в которой происходят физические процессы, отличные от процессов в оригинале, но те и другие могут быть описаны одинаковыми или подобными математическими выражениями. Аналоговые модели относятся к моделям прямой аналогии, если моделирование осуществляется с помощью реальных материальных объектов, и к моделям непрямой аналогии, если для моделирования используются аналоговые ЭВМ.

Во всех случаях материального моделирования модель – это материальное отражение исходного объекта. Исследование состоит в

материальном воздействии на неё, т. е. в экспериментировании с моделью. Поэтому материальное моделирование по своей природе является экспериментальным методом.

Идеальное моделирование основывается не на материальной, а на идеальной, мыслимой связи между объектами. В этом его принципиальное отличие от материального моделирования. В идеальном моделировании различают формализованное и неформализованное (интуитивное).

При неформализованном моделировании моделью является не зафиксированное точно мысленное отражение моделируемого объекта, служащее основой для рассуждений и принятия решений. Эффективность такого моделирования в значительной степени зависит от опыта и интуиции лица, его осуществляющего. Другим недостатком неформализованных моделей является их плохая повторяемость при воспроизведении таких моделей разными лицами, так как один и тот же объект может восприниматься разными исследователями по-разному, что может привести не только к несовпадающим, но и прямо противоположным выводам.

При формализованном моделировании моделями служат системы знаков или образов, вместе с которыми задаются правила их преобразования и интерпретации.

Образное моделирование использует в качестве моделей идеальные образы исследуемых объектов, причем эти образы воспринимаются всеми исследователями одинаково, а правила взаимодействия образов, используемых в модели, четко фиксированы. Примером таких моделей являются идеальный газ, идеальная жидкость – в физике, точка, линия – в геометрии и т. д. Исследования на таких моделях принято называть мысленным экспериментом.

Знаковое моделирование использует в качестве моделей системы знаков в совокупности с правилами их преобразования и интерпретации. Знаки могут быть различными. Примерами знаковых моделей могут служить карты местности, химические формулы, описания объектов на любом из языков. Важнейшим видом знакового

моделирования является математическое моделирование, а знаковой модели – математическая модель.

Математическая модель – это знаковая модель исследуемой системы, составленная на языке математики.

Математическая модель представляет собой совокупность математических выражений, отражающих существенные для исследования свойства моделируемого объекта.

Математическое моделирование – это процесс построения и оперирования математической моделью с целью получения информации о моделируемом объекте.

Формализованное моделирование можно подразделить также на частично формализованное, допускающее в известных пределах неоднозначность и вариабельность описаний свойств и характеристик моделируемого объекта в семантическом и синтаксическом отношениях, и вполне формализованное. Основными признаками подкласса вполне формализованных моделей являются, во-первых, абстрактный характер всех структурных компонент модели, которые должны представлять собой формально описанные элементы некоторого жесткого языка с его семантикой, и, во-вторых, вполне однозначный синтаксис, определяющий операции, которые допустимы над этими элементами, а также порядок выполнения допустимых операций.

Математические модели относятся к классу вполне формализованных моделей.

По сравнению с другими видами моделирования математическое моделирование как метод исследования обладает следующими преимуществами:

– универсальностью, обусловленной универсальностью математики как языка описания и метода исследования объектов окружающего мира;

– практическим отсутствием ограничений на применение, так как математическое моделирование пригодно для исследования любых объектов;

–высокой адаптивностью, т. е. возможностью внесения требуемых изменений в модель при необходимости;

–меньшими материальными и временными затратами на моделирование;

–возможностью проведения исследований на критических режимах, которые приводят к разрушению материальных моделей.

Особенно ярко преимущества математического моделирования проявились с появлением ЭВМ. Моделирование с помощью ЭВМ позволило решать многие задачи исследования, которые по уровню сложности и затратам на их решение не могли быть решены другими методами. К таким задачам относятся задачи управления сложными организационными системами и исследования в них информационных процессов. Поэтому математическое моделирование является важнейшим методом исследования в теории управления и кибернетике.

Модели и методы моделирования кроме рассмотренного аспекта классификации, а именно по средствам моделирования, могут быть классифицированы по характеристикам моделируемого объекта, которые отражаются в модели. Основными характеристиками систем являются их структура и поведение (функционирование). По данному признаку различают следующие виды моделирования: структурное, структурно-функциональное, функционально-структурное, функциональное.

При структурном моделировании оригинал и модель отождествляются на основе сходства, подобия, аналогии их структур. При функциональном моделировании оригинал и модель отождествляются на основе сходства, подобия, аналогии их функционирования.

Структурно-функциональное и функционально-структурное моделирование являются промежуточными случаями структурного и функционального моделирования, различающимися степенью учёта структуры и функционирования оригинала при моделировании.

2.3 Состояние теории и практики системотехнического моделирования управления технологическими процессами

В последние годы на современном этапе перестройки всех сфер деятельности специалистов различного уровня получили развитие такие направления, как анализ и синтез деятельности отдельных специалистов и коллектива из них.

С кибернетических позиций синтез (проектирование деятельности в автоматизированных системах управления) следует рассматривать как проектирование «человеческой» управляющей подсистемы. Поэтому в процессуальном, так сказать, «технологическом» плане проектирование деятельности мало чем отличается от технического системного проектирования. Но существенные отличия возникают из-за специфики объекта проектирования, для которого нет аналогов, в современной технической кибернетике и связанных с нею научных дисциплинах. Следовательно, для проектирования деятельности необходимо специальное описание этой деятельности как управляющей подсистемы в автоматизированной системе управления (АСУ) и как объекта ее проектирования. Причем для достижения целей проектирования это описание, во-первых, должно быть математическим, а во-вторых, способным адекватно отобразить всю сложность профессиональной деятельности коллектива специалистов. Иначе говоря, для проектирования деятельности нужна система математических моделей этой деятельности, которые развертываются и конкретизируются в ходе проектирования и в результате воплощаются в конкретные средства контроля и управления, в организационную структуру взаимодействия специалистов с этими средствами, в должностные инструкции и предписания (в которых не только указаны цели и отдельные задачи деятельности, но вскрыты и отображены ее логика и конкретные процедуры) и, наконец, – в программы для профессиональной подготовки специалистов.

Общепринято различать классы физических и математических моделей (могут выделяться и подклассы). Соответственно различают

физическое и математическое моделирование. Первое осуществляется при гомоморфизме материальных систем, а второе – при гомоморфизме материальной и идеальной, математической, системы или двух математических систем. В частности, существует мнение, что в инженерной психологии физическое моделирование является экспериментальным и сводится к созданию имитаторов с целью воспроизведения вещественных компонентов деятельности.

Нетрудно видеть, что при такой интерпретации физическое и математическое моделирование рядопологаются, причем физическое моделирование выглядит независимым от математического. На самом деле это не так: гомоморфизм физических моделей может быть строго обоснован лишь изоморфизмом их гомоморфных математических моделей. Действительно, на основе известного определения модели, данного Ю. А. Гастевым, можно утверждать, что физические системы A и B моделируют друг друга, если система A гомоморфно отображается в математическую систему A' , а система B – в математическую систему B' , причем A' и B' изоморфны. Таким образом, физическое моделирование в явном или неявном виде включает в себя математическое моделирование. По этой причине, говоря о моделях деятельности, необходимо прежде всего уделять внимание их математической основе.

Моделирование трактуется как процесс создания иерархии моделей, в которой некоторая реально существующая система моделируется в различных аспектах и различными средствами.

Существующие в инженерной практике математические модели и методы исследования деятельности не охватывают в совокупности такие ее важные свойства, как иерархическую структурность, логическую и операционную сложность, пространственно-временной и вероятностный характер, свернутость или развернутость осуществления.

В рамках решения задачи моделирования в таком аспекте необходимо отметить функциональный подход и макроуровень,

свойственный существующим моделям, среди которых следует отметить следующие модели.

Системотехнические модели отличается то, что они, в сущности, выходят за пределы только профессиональной деятельности, объединяя ее с работой машин, механизмов и средств автоматики. Среди этих моделей можно выделить два подкласса. Один из них включает модели, целью которых является распределение функций между техническими средствами и людьми, а другой – модели, целью которых служит размещение людей и машин, а также организация связей между ними.

Модели распределения функций суть модели автоматизации целенаправленной деятельности (ЦД). Наиболее интересным представителем этого подкласса математических моделей является модель «степени автоматизации», предложенная О. В. Ронжиным. Специфическим аппаратом этой модели является развитая Ронжиным модификация теории информации, учитывающая время. Данная модель представлена уравнением

$$\varepsilon_A = I_A \cdot I_Y, \quad (1)$$

где ε_A – мера степени автоматизации ($0 \leq \varepsilon_A \leq 1$); I_Y – общее количество информации, необходимое и достаточное для контроля и управления объектом с заданной точностью и качеством процессов в течение определенного промежутка времени; $I_Y = I_A + I_{оп}$; I_A – количество информации, перерабатываемое в процессе контроля и управления средствами автоматики, а $I_{оп}$ – количество информации, перерабатываемое операторами.

Дальнейшее раскрытие и определение параметров модели (1) приводит к возможности её нормативного использования на макроуровне, причём нетрудно видеть, что модель является функциональным аналогом.

Транспортные системотехнические модели, очевидно, можно строить, предполагая решенным вопрос о распределении функций между человеко-машинными элементами систем. Типичным представителем моделей этого подкласса служит модель, пред-

ложенная А.Чаланисом для размещения операторов и технических средств на посту централизованного контроля, управления и организации визуальных, речевых и прочих коммуникативных связей между операторами и оборудованием. Эта модель, вскрывая структуру логических и коммуникативных отношений в системе управления, моделирует «механизм явления» на микроуровне и допускает нормативное использование.

Теоретико-вероятностные модели непосредственно базируются на аппарате теории вероятностей и некоторых ее современных разделов (теория стохастической аппроксимации, статистическая теория решений). Рассмотрим две из типичных моделей этого подкласса.

«*Оптимальная модель оператора*», отображающая его способность к обучению и усвоению сенсорной информации, предложена Ю. М. Забродиным и, по утверждению автора, обобщает ряд известных психофизических моделей. Модель построена на аппарате алгоритмов стохастической аппроксимации для случая дихотомической классификации стимулов в векторном пространстве.

Теоретико-информационные модели выделены в качестве второго подкласса психофизических моделей по той причине, что все они базируются на основном понятии теории информации – на пропускной способности, которое применяется к человеку-оператору как преобразователю информации. Возможность такого применения заключена в допущении того, что деятельность человека представляет собой последовательность действий по приему, переработке и отправлению информации.

Логико-информационные модели отличаются от предыдущих тем, что основаны на логической структуре ситуации, которая распознается оператором при контроле состояний сложного объекта. Типичным представителем этого подкласса является модель, предложенная А.И. Галактионовым.

Всем этим моделям присущ и алгоритмический подход к описанию и оценке деятельности. Однако с позиций назначения

моделей, специфики алгоритмизации и т. п. можно выделить четыре подкласса: алгоритмические, структурные, структурно-алгоритмические модели и модели производительности труда (эффективности) оператора. Алгоритмические модели характеризуются использованием алгоритмического языка, предложенного А. А. Ляпуновым и Г.А. Шестопадом, и графов Бержа. Модели этого подкласса претендуют на описание любой целостной деятельности, но до сих пор использовались применительно к психофизиологическому анализу частных видов деятельности. Важнейшими ограничениями для применения этих моделей служат отсутствие в них операций синтеза и нестохастический характер используемых алгоритмов. По этой причине алгоритмические модели имеют лишь дискурсивное применение к сложной целостной деятельности, которая в качестве составляющих включает процесс создания и проектирование как вид деятельности. Первая из них в настоящее время хорошо формализована, а вторая, базирующаяся на человеке (специалисте), слабоформализована.

2.4 Классификация моделей для проектирования технологических операций управления состоянием сложных объектов машиностроения

Современный этап развития авиационной техники и повышение эффективности ее использования существенно связаны с эффективностью форм организации процессов технического обслуживания и эксплуатации, которые в свою очередь связаны с кадровым обеспечением этих процессов.

В этих условиях создание форм организации процессов технического обслуживания и эксплуатации авиационной техники в большинстве случаев их реализации отражается на кадровом сопровождении, требование к которому определяется свойствами больших систем (БС), в частности, помимо размерности:

- «субъективность», обусловленная наличием людей в узлах контроля и управления, которые принимают решения (ЧФ);

- «неопределенность» – развитие и функционирование БС всегда протекает при той или иной степени неопределенности, которая пронизывает всю сферу управления БС (неполная неопределенность внешней среды и внутренних свойств БС, неполная неопределенность ее целей).

Следовательно, описание систем обслуживания и эксплуатации авиационной техники должно прежде всего базироваться на таких центральных для общей теории систем понятиях, как организованность, информации и цель.

В связи с этим дадим определение системы эксплуатации и обслуживания ВС с общих позиций, то есть на принятое определение большой системы: «искусственной большой системой будем называть совокупность («общество») большого числа иерархически зависимых сложных подсистем, содержащих коллективы людей и машин, обладающих определенной степенью организованности и автономности, объединенных между собой, исходя из действующей иерархии целей, средствами организации, в общем случае энергетическими, вещественными и информационными связями для обеспечения целенаправленного функционирования всей системы как единого целого».

В системах эксплуатации и обслуживания ВС узлы контроля и эксплуатации, в которых осуществляется принятие решений, а также исполнительные элементы представляют сложные человеко-машинные комплексы. Создание и функционирование как узлов, так и исполнительных элементов системы базируются на передаче, переработке и преобразовании информации для принятия решений о состоянии объекта обслуживания или эксплуатации.

Введем ряд общих понятий и определений, которые связаны с созданием информации для процессов обслуживания и эксплуатации.

Под *объектом* будем понимать некоторую целостность (т. е. обособленный фрагмент действительности или автономное образование), которая обладает присущими только ей свойствами на фоне свойств среды и на фоне своей структуры (образующих объект

частей и связей между ними). Любой объект как реальность существует только в определенной среде как внутренняя граница в этой среде. И объект и среда – взаимообусловленные сущности, устанавливаемые в процессе перехода от одной к другой.

Среда – внешняя по отношению к объекту система, не обладающая в общем случае ни однородностью, ни целостностью. Среда имеет определенный набор свойств на фоне находящихся в ней различных объектов, включает в себя эти объекты, но не сводится к последним.

Для каждого данного объекта состояние среды характеризуется вектором Z . Однородная составляющая вектора, одинаковая для всех находящихся в рассматриваемой среде объектов, описывает внешние условия Z_y (давление, температуру, влажность и т. п.), а другая составляющая – окрестностные условия Z_0 (различные объекты, взаимодействующие с данным):

$$Z = Z_y \cup Z_0.$$

Употребляемые нами утверждения являются обобщенными, то есть теоретическими моделями как объекта, так и среды.

Переход от теоретических моделей к практическим представляет собой детализацию обобщенных утверждений. В случае обслуживания или эксплуатации ВС мы реализуем своеобразный путь – от реальной природы объектов к теоретическому обобщению (познанию), и от этого обобщения к формулируемой специалистом действительности, в нашем случае оценке состояния реальных объектов или систем обслуживания или эксплуатации воздушных судов. Этому формированию должны предшествовать практические модели его действий.

Создание практических моделей представляет собой не что иное, как перевод обобщенных утверждений на язык практики – язык конкретных применений. Следовательно, создание практических моделей есть проектирование ситуаций, для которых справедливы соответствующие обобщенные утверждения.

В настоящее время наименее изученными для организации обслуживания и эксплуатации ВС являются организованность процессов оценки состояния, иерархия результатов и полноты информации и ее автономность, а также отношения между специалистом и объектами, участвующими в оценке состояния, на базе которых формируются узлы контроля и управления обслуживанием и эксплуатацией ВС.

Для решения задач проектирования процессов оценки состояния объектов обслуживания и эксплуатации ВС дадим общее определение объекту проектирования (ОП), который должен быть создан для разрешения определенной проблемы, возникшей или выделенной и одном из фрагментов действительности. Для обслуживания ВС в качестве одного из важнейших ОП выступают технологические операции получения информации о параметрах объекта, которые, как правило, реализуются специалистом; особенности его участия слабо отражены в технологических процессах, состоящих из спроектированных операций в рамках формализма.

Для определения обобщенной ценности каждого варианта реализации оценки состояния объекта контроля (структуризации критериальных свойств) используют критерии эффективности или совершенства G . В ряде случаев их называют функциями качества, ценности, полезности, выбора и т. п. Критерии совершенства, при построении структуры которых используют как декомпозиционный, так и композиционный подходы, являются важнейшим компонентом постановок задач проектирования процесса оценки и выражают принципиальное отличие современного инженерного подхода от ремесленного.

Первоначально при создании любого нового объекта инженерного проектирования, когда границы спектра областей его возможного использования только выявляются и поэтому он в общем случае оказывается функционально неполностью определенным (ненасыщенным), эффективность оценивается исключительно составом и значениями некоторых свойств назначения, определяемых

с участием специалиста, т.е. лица, принимающего решение (ЛПР). Основное влияние на формирование структуры критериев совершенства имеет специалист.

Спектр методов синтеза, анализа, оценки, интерпретации логико-математических моделей различных объектов обслуживания и эксплуатации ВС, в том числе моделей технического обслуживания, непрерывно расширяется, в то время как ЧФ остаётся вне сферы их реализации.

3 СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Одной из важнейших характеристик системы является ее структура, т. е. устойчивая упорядоченность в пространстве и времени элементов и связей, определяющая целостность, строение и основы организации системы.

Целью структурного моделирования является построение структурной модели, т. е. объекта, структура которого в требуемой мере сходна со структурой оригинала, и исследование этой модели для определения характеристик структуры оригинала, влияния структуры на функционирование оригинала и выявления наилучших с заданной точки зрения структур. В основе структурного моделирования лежит сходство, подобие структур модели и исследуемой системы.

К основным задачам структурного моделирования относятся:

- установление структуры исследуемой системы;
- определение степени влияния структуры и параметров исследуемой системы на ее поведение (функционирование);
- оценивание качества структуры;
- определение наилучшей по заданному критерию структуры и совокупности параметров системы.

При структурном моделировании систем обычно используют три уровня описания связей между элементами.

На первом уровне, когда исходят лишь из наличия или отсутствия связей между элементами, моделями структур систем обычно служат неориентированные графы. На втором уровне, когда дополнительно учитывается направление связей, в качестве структурных моделей применяют ориентированные графы и структурные схемы. На третьем уровне, когда, кроме того, учитывают вид и направление сигналов, в качестве моделей чаще всего используют структурные схемы и ориентированные взвешенные графы.

Построение структурных схем сложных систем осуществляется с использованием графов, поэтому графы составляют основу аппарата формализованного описания структур систем. Так как графы нашли широкое применение в структурном моделировании, то рассмотрим основные положения теории графов, необходимые при решении задач структурного анализа и синтеза систем.

Граф G – пара множеств $\langle X, U \rangle$, состоящая из множества X и подмножества U прямого произведения множества X самого на себя, т. е. $G = \langle X, U \rangle$, где $U \subset X \times X$. Граф называется конечным, если множества X и U конечны, и бесконечным в противном случае.

Элементы x множества X называются вершинами графа, а само множество X – множеством вершин графа. Элементы $\langle x, y \rangle$ множества U , где $x \in X$, $y \in X$, называются дугами, а само множество U – множеством дуг графа.

Говорят, что дуга $\langle x, y \rangle$ исходит из вершины x и заходит в вершину y . Вершины x и y дуги $\langle x, y \rangle$ называются концевыми вершинами этой дуги, при этом вершина x называется начальной, а вершина y – конечной вершиной этой же дуги. Дуга и вершина графа называются инцидентными, если вершина является концевой для данной дуги. Это означает, что дуга $\langle x, y \rangle$ инцидентна вершинам x и y , а вершины x и y инцидентны дуге $\langle x, y \rangle$.

Вершина графа, не инцидентная никакой дуге, называется изолированной. Дуги графа, имеющие общую начальную и общую конечную вершины, называются кратными дугами. Дуга графа, у которой начальная и конечная вершины совпадают, называется петлей.

Две вершины графа называются смежными, если существует хотя бы одна дуга, инцидентная им обеим. В графе две вершины смежные, если для какой-либо из дуг графа они являются концевыми. Две дуги графа называются смежными, если существует хотя бы одна вершина, инцидентная им обеим. В графе дуги будут смежными, если существует общая концевая вершина для этих дуг.

Граф может быть задан тремя способами:

- аналитическим;
- геометрическим;
- матричным.

Аналитический способ задания графов

Говорят, что граф $G = \langle X, U \rangle$ задан аналитически, если задано множество X и соответствие $\Gamma = \langle X, X, U \rangle$, для которого множество U является графиком, т. е. $U \subset X \times X$. Соответствие, определяющее граф, может быть задано различным образом, что обуславливает разные формы аналитического задания графа. Так, например, соответствие Γ может задаваться множеством $\Gamma(x)$ образов для каждого элемента x множества X . Тогда граф будет задан в виде, приведенном в примере 1 .

Пример 1

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}.$$

$$\Gamma(x_1) = \{x_1, x_2, x_3\}, \Gamma(x_2) = \emptyset, \Gamma(x_3) = \{x_1, x_2, x_5\},$$

$$\Gamma(x_4) = \{x_1\}, \Gamma(x_5) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}.$$

Граф может быть задан также путем перечисления всех элементов множества X и множества U так, как приведено в примере 2.

Пример 2

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}.$$

$$U = \{ \langle x_1, x_1 \rangle, \langle x_1, x_3 \rangle, \langle x_1, x_5 \rangle, \langle x_3, x_1 \rangle, \langle x_3, x_2 \rangle, \langle x_3, x_5 \rangle, \langle x_4, x_1 \rangle, \langle x_5, x_1 \rangle, \langle x_5, x_2 \rangle, \langle x_5, x_3 \rangle, \langle x_5, x_4 \rangle, \langle x_5, x_5 \rangle \}$$

В примерах 1 и 2 задан один и тот же граф.

Геометрический способ задания графов

При геометрическом способе задания графа множеству X ставится в соответствие множество точек некоторого подпространства (чаще плоскости). Эти точки являются вершинами графа. Каждую вершину $x_i \in X$ соединяют линиями со стрелками на конце с вершинами $x_j \in X$, которые являются образами вершины x_i , т. е. для

которых выполнено условие $x_j \in \Gamma(x_i)$. Стрелки на концах линий направляют от вершины x_i к вершинам $x_j \in \Gamma(x_i)$. В результате получают геометрическое представление графа, называемое диаграммой графа, которая представлена на рис. 4.

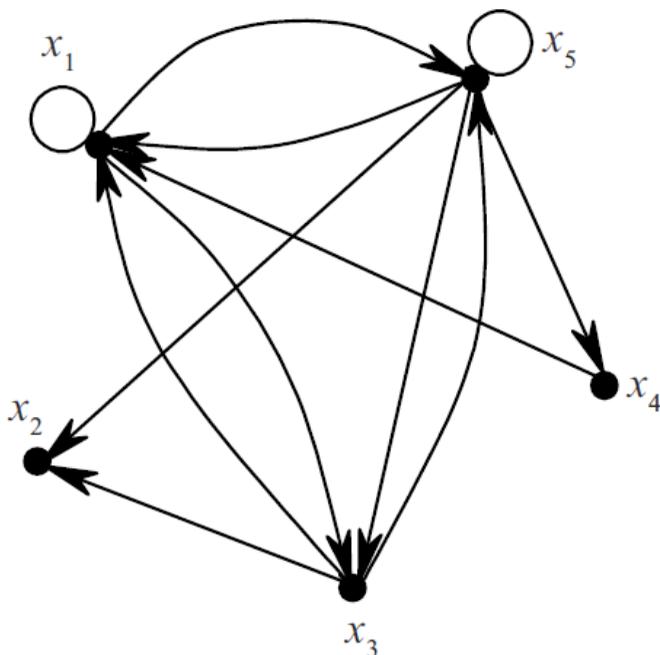


Рис. 4. Диаграмма графа

Матричный способ задания графов

Рассмотрим конечный граф $G = \langle X, U \rangle$, число вершин которого равно n , а число дуг – m .

Квадратная матрица $R = \left\| r_{ij} \right\|_n^n$ размерности $n \times n$, каждой строке и каждому столбцу которой сопоставлены вершины x_i , $i = 1(1)n$

графа G , а элементы r_{ij} которой равны 1, если граф имеет дугу, исходящую из вершины x_i и заходящую в вершину x_j , и 0, если такой дуги в графе нет, т. е.

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } \langle x_i, x_j \rangle \in U; \\ 0, & \text{если } \langle x_i, x_j \rangle \notin U, \end{cases}$$

называется матрицей смежности вершин этого графа.

Если граф имеет кратные дуги, то элемент r_{ij} матрицы смежности равен числу дуг, исходящих из вершины x_i и заходящих в вершину x_j .

Для рассмотренного в примерах 1 и 2 графа матрица смежности имеет вид

$$R = \left\| r_{ij} \right\|_5^5 = \begin{array}{ccccc} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & \begin{array}{l} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{array} \end{array}$$

Обозначим каждую дугу $\langle x_i, x_j \rangle$ графа символом u_k , $k = I(1)m$.

Матрица $S = \left\| s_{ij} \right\|_n^m$ размерности $n \times m$, каждой строке которой сопоставлена вершина x_i , $i = I(1)n$, а каждому столбцу – дуга u_j , $j = I(1)m$ графа G , и элементы s_{ij} которой равны 1, если дуга u_j исходит из вершины x_i ; -1 , если дуга u_j заходит в вершину x_i , и 0, если дуга u_j не инцидентна вершине x_i или является петлей, т. е.

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если дуга } u_j \text{ исходит из вершины } x_i; \\ 0, & \text{если дуга } u_j \text{ не инцидентна вершине } x_i \text{ или является петлёй;} \\ -1, & \text{если дуга } u_j \text{ заходит в вершину } x_i, \end{cases}$$

называется матрицей инцидентности (инциденций) графа G .

Для рассмотренного в примерах 1 и 2 графа матрица инцидентности имеет вид

$$R = \|s_{ij}\|_5^{12} = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & u_8 & u_9 & u_{10} & u_{11} & u_{12} \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

При составлении матрицы инцидентности были использованы следующие обозначения:

$$\begin{aligned} u_1 &= \langle x_1, x_1 \rangle, u_2 = \langle x_1, x_3 \rangle, u_3 = \langle x_1, x_5 \rangle, u_4 = \langle x_3, x_1 \rangle, \\ u_5 &= \langle x_3, x_2 \rangle, u_6 = \langle x_3, x_5 \rangle, u_7 = \langle x_4, x_1 \rangle, u_8 = \langle x_5, x_1 \rangle, \\ u_9 &= \langle x_5, x_2 \rangle, u_{10} = \langle x_5, x_3 \rangle, u_{11} = \langle x_5, x_4 \rangle, u_{12} = \langle x_5, x_5 \rangle. \end{aligned}$$

Матрица инцидентности, как и матрица смежности, полностью определяет соответствующий граф. Все три рассмотренных способа задания графов являются эквивалентными. Геометрический способ обладает наибольшей наглядностью, матричный способ широко применяется при компьютерной обработке графов.

4 СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВС

Работа по обслуживанию и эксплуатации ВС требует от человека совершенного знания своих обязанностей и прав, чёткой пространственно-временной регламентации действий по приёму, переработке и отправлению информации в условиях непрерывного контроля состояния авиационных систем. Любой исполнитель работ фактически является оператором, от организации труда которого зависит эффективность эксплуатации ВС.

Изучение целенаправленной деятельности (ЦД) человека при эксплуатации ВС представляет центральное место в исследованиях, направленных на повышение безопасности полётов. В условиях функционирования человека в контуре обслуживания и эксплуатации ВС требуются глубокие теоретические и практические исследования его влияния на обеспечение безопасности функционирования всей системы в целом.

Метод структурно-алгоритмического анализа и синтеза деятельности, разработанный Г.В. Суходольским, позволяет создавать системы математических моделей деятельности.

В отношении моделирования систем «человек – машина» можно рассматривать макромоделли и микромоделли. Макромоделли используются для синтеза связей между человеком и техникой; микромоделли – для описания деятельности, её элементов и связей между элементами.

ЦД должна представляться как иерархическая структура, когда элементы низшего уровня формируют системы высшего.

Структурно-алгоритмическая модель деятельности описывает деятельность как вероятностный алгоритм, обладающий свойством топологичности, т. е. неизменности при деформации. Свойство топологичности включает допустимость топологических (сохраняющих основную структуру) преобразований модели в реальном пространстве рабочего времени.

Структура деятельности описывается в виде сложного графа. Вершины графа отражают элементы деятельности, а дуги – связи между ними. Вершинам и дугам графа могут быть приписаны любые качественные и количественные характеристики деятельности.

Процедура структурно-алгоритмического моделирования ЦД специалиста по ТОиР может быть расчленена на три этапа: структурный анализ, алгоритмизация и структурный синтез.

4.1 Структурный анализ

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

- выделение круга обязанностей для каждого из специалистов;
- выделение режимов работы;
- выделение подмножеств задач, решать которые предписывается каждому из специалистов в каждом режиме работы.

Для лучшего представления и исследования факторов, которые воздействуют на специалиста, можно использовать модель SHELL, описанную ранее. В качестве примера рассмотрим как объект для моделирования процесс дозаправки маслобаков самолёта Ил-76ТД-ВД. Человеко-машинные взаимодействия, возникающие во время этого процесса, представлены на рис. 5 в виде модели SHELL. Конкретные действия специалиста, содержание операций и технические требования содержатся в технологических картах. В соответствии с технологической картой при дозаправке маслобаков необходимо: на приборной доске бортинженера по указаниям ЛД-49 проверить количество масла в баке каждого двигателя, дозаправить маслобак маслом (открыть крышку люка заливной горловины, расконтрить затяжной винт крышки заливной горловины и вывернуть

его из траверсы, вывести траверсу из пазов, снять крышку заливной горловины, расконтрить и вывернуть из гнезда мерную линейку, залить через заливную горловину масло в бак), проверить показания масломеров с действительной заправкой, закрыть крышку заливной горловины (поставить крышку в гнездо заливной горловины, установить траверсу против пазов, повернуть траверсу и ввести её в пазы, ввёртыванием затяжного винта поджать крышку до её упора в прокладку фланца фильтра, законтрить затяжной винт, закрыть крышку люка заливочной горловины маслобака).

4.2 Алгоритмизация целенаправленных действий специалиста

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 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.

Построение алгоритма задачи в форме графа Бержса

Средства контроля и управления, с которыми выполняются «сенсорные» и «моторные» действия, изображаются в виде вершин графа и нумеруются в любом порядке. Логические действия, во-первых, действия опредмеченные (т.е. 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 оргграфа алгоритма.

Поскольку на уровне алгоритма задачи все задачи рассматриваем изолированно, то неизвестную (с точки зрения рассматриваемой задачи) вершину графа другой задачи, из которой исходит дуга, входящая в вершину «1», условимся обозначать *вх*.

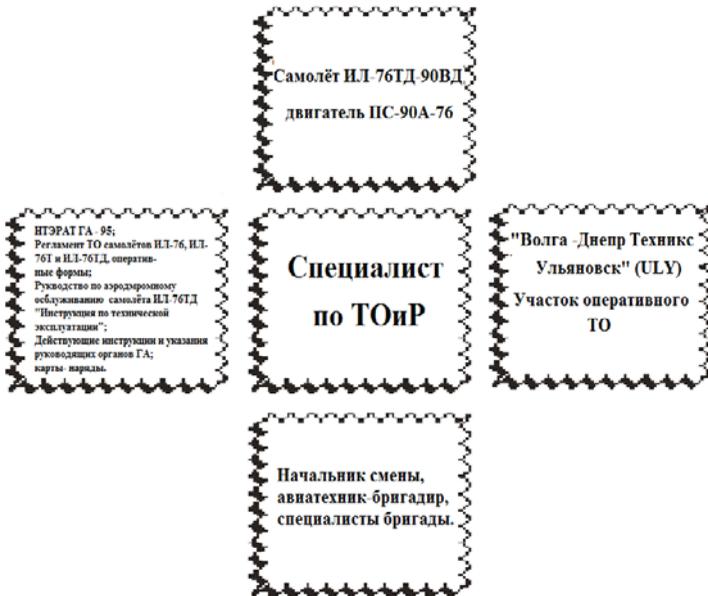


Рис. 5. Модель SHIEL для специалиста по техническому обслуживанию ВС

Также условимся неизвестную вершину графа другой какой-то задачи, в которую будет входить дуга, исходящая из вершины, обозначать всегда *вых*. *Вх* и *вых* надписываются над «зависающими» дугами графа алгоритмизуемой задачи и в дальнейшем (на этапе синтеза) послужат для соединения алгоритмов задач друг с другом. В рассматриваемом примере процесс дозаправки маслобака удобней представить в виде трёх алгоритмов задач.

В первом алгоритме задач два логических действия:

- включить «масломер I, II дв», «масломер III, IV дв»;
- проверить количество масла.

Во втором алгоритме задач выделено четыре логических действия:

- проверка паспорта у маслозаправщика, кондиционность масла, чистоту заправочного пистолета;
- выполнение дозаправки маслобака маслом;
- по делению мерной линейки проверить количество масла;
- сравнить показания масломера с фактической заправкой.

Третий алгоритм задач содержит пять логических действий:

- вставить мерную линейку в гнездо и законтить её;
- закрыть крышку заливной горловины;
- убедиться, что крышка поджата до упора в прокладку фланца фильтра;
- законтить затяжной винт и мерную линейку;
- закрыть крышку люка.

Для данных трёх алгоритмов задач построим три графа Бержа, которые изображены на рис. 6.

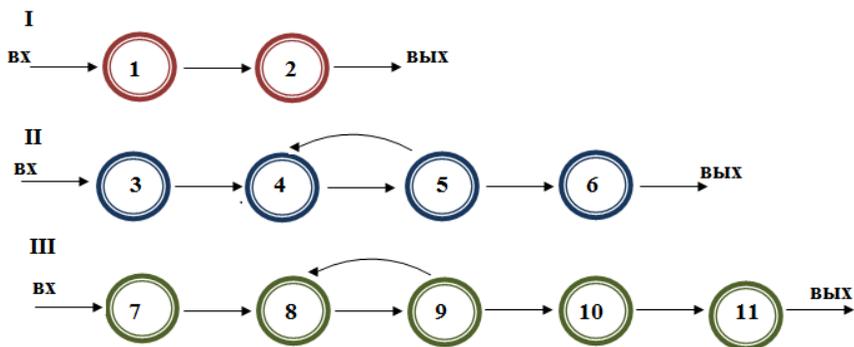


Рис. 6. Графы Бержа

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. 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. Каждая реализация есть путь в графе от vx к $вых$. Сколько таких путей, столько и реализаций. В процессе дозаправки маслобака алгоритм I имеет одну реализацию, алгоритм II – четыре реализации, а в алгоритме III возможны два исхода опыта.

Взвешивание реализаций.

Заключается в умножении j -й реализации на ее вероятность P_j , причем для n реализаций

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1.$$

Таким образом, задача состоит в определении множества вероятностей P_j . Здесь могут быть выделены два случая: а) всякая информация о значениях P_j отсутствует, тогда перечисленные реализации считаются равновероятностными – каждая из n реализаций имеет вероятность $1/n$; б) степень контура (цикла) k фиксирована и имеются приближенные (но достаточно правдоподобные) оценки для P_j . Оценки вероятностей реализаций с циклом k -й степени для алгоритма II приведены в табл. 1.

Таблица 1. Оценки вероятностей реализаций алгоритма II

k	0	1	2	3
$P(k)$	0,9	0,07	0,02	0,01

Умножить j -ю реализацию на вероятность P_j – это практически означает надписать над всеми дугами реализации значение P_j . Так, например, если принять $k = \overline{0,1}$ и считать реализации алгоритма III равновероятными $P_j = 0,5$, то, умножая их на 0,5, получаем взвешенные реализации на рис. 7.

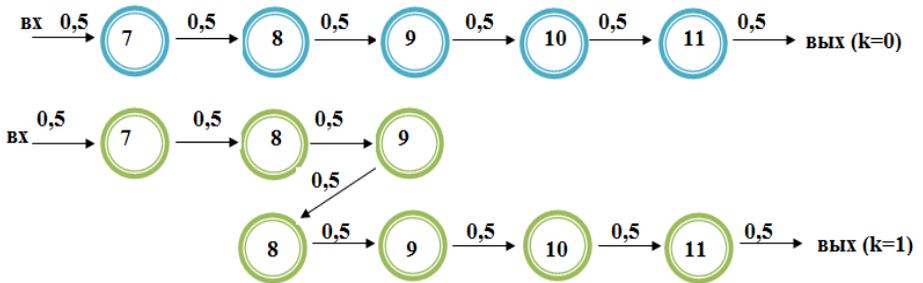


Рис. 7. Взвешенные равновероятные реализации алгоритма III

Если же принять $k = \overline{0,3}$ и считать, что реализации имеют вероятности $P_j = P(k)$, то, перечисляя реализации для всех $k = \overline{0,3}$ и умножая их на оценки $P(k)$, получим взвешенные реализации на рис. 8.

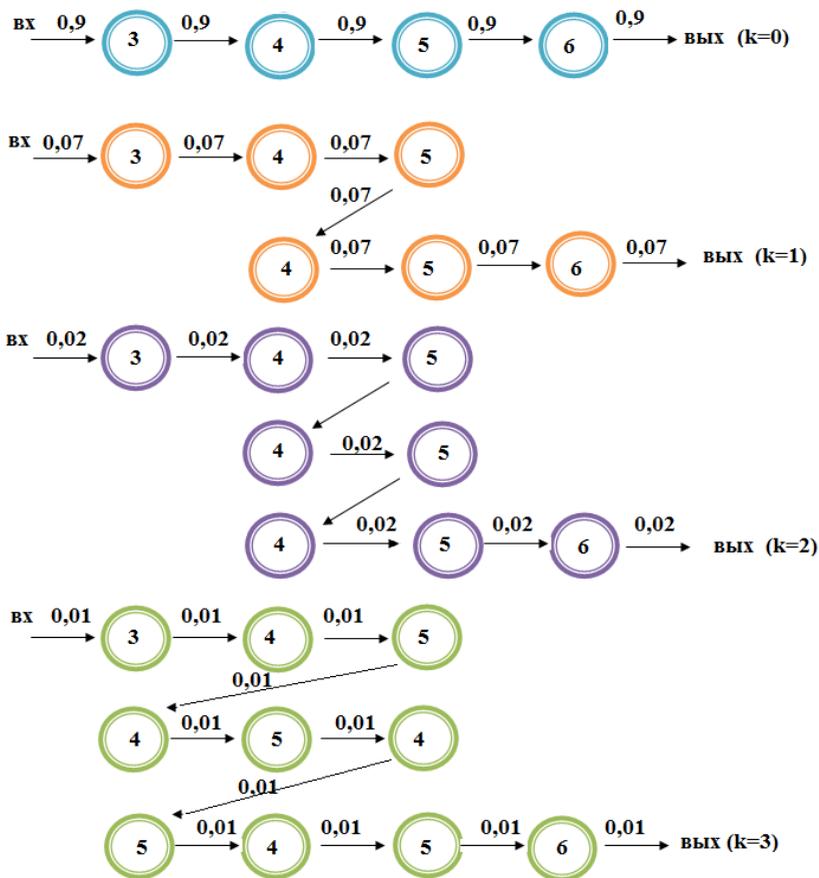


Рис. 8. Взвешенные реализации алгоритма II

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. Но простые структуры, какими являются многие реализации, можно обобщать непосредственно по их графам.

Обобщение по графам реализаций сводится к следующему: а) объединяются вершины графа; б) все «одноименные» дуги суммируются по их весам; в) проверяется равенство полустепенных входов и выходов в каждой вершине. Например, обобщение двух реализаций на рис. 7 приводит к варианту вероятностного алгоритма, показанному на рис. 9.

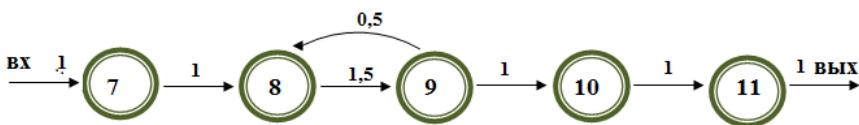


Рис. 9. Вероятностный алгоритм при двух равновероятных реализациях

Обобщение четырёх реализаций алгоритма II на рис. 8 приводит к варианту вероятностного алгоритма на рис. 10.

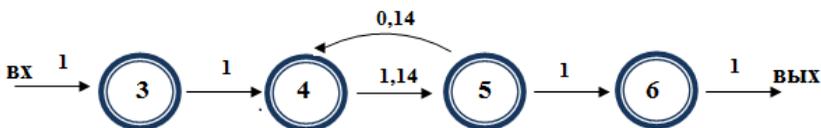


Рис. 10. Вероятностный алгоритм при четырёх неравновероятных реализациях

Важно отметить два обстоятельства. Во-первых, в графе алгоритма частота «прямой дуги» в контуре всегда на единицу больше частоты «обратной» дуги. Во-вторых, полученные частоты дуг не

являются вероятностями, а представляют собой значения меры «проходимости» дуги, при условии, что алгоритм i -й задачи функционирует f_i раз, причём f_i – это частота входа и выхода алгоритма.

4.3 Структурно-алгоритмический синтез

Структурный синтез представляет собой третий этап моделирования ЦД, основная цель которого – построение метаструктур из структур путём операций соединения. Операции, которые здесь целесообразно выделить, состоят в синтезе моделей на уровнях: режима работы, индивидуальных и коллективных ЦД.

Структурой режима работы назовём метаструктуру, обобщенную из алгоритмов задач либо представляющую собой соединение структур этих задач.

Особенностью синтеза является получение матрицы переходов Z_r (для r -го режима работы). Матрица переходов Z_r есть в сущности матрица переходных вероятностей, т.е. вероятностей перейти от выходов i -й структуры ко входам j -й из синтезируемых подструктур. Для получения матрицы Z_r необходимо выполнять следующие действия: а) перечислить реализации метаструктуры; б) взвесить их частотами (или вероятностями); в) обобщить их матрицы в матрицу Z_r ; г) проверить условие: сумма вероятностей в каждой строке равна единице.

Отметим, что цепь как метаструктура есть вероятностный алгоритм алгоритмов и формируется он по тем же самым правилам, как и «подалгоритмы».

При синтезе метаструктур необходимо различать достоверные, недостоверные (случайные) и полудостоверные соединения структур. Рассматривая синтез цепей из алгоритмов задач «внутри» режима работы, ограничимся одним видом соединений: достоверным соединением простых структур.

Метаструктура имеет достоверную последовательность алгоритмов I, II, III, показанную на рис. 11.

Заметим, что vx и vyx в матрицах Z^* и Z^{**} относятся к метацепи.

3) Добавляя строки и столбцы из нулей, преобразуем матрицу Z^{**} к матрице Z_r , имеющей порядок «базисной» матрицы $C_r = \bigcirc_{i=1} B_{r_i}$,

где B_{r_i} – матрицы рассматриваемых алгоритмов ($i = I, II, III$):

$$Z_r = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & vyx \end{array} \\ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ vx \end{array} \end{array} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4) Запишем матрицы алгоритмов:

$$B_I = \begin{array}{c} 1 \quad 2 \\ 1 \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \\ 2 \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$B_{II} = \begin{matrix} & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,14 & 0 \\ 0 & 0,14 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$B_{III} = \begin{matrix} & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ \begin{matrix} 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

5) Обобщим их в матрицу C^* , приписывая строку vx и столбец $вых$ с нулевыми элементами:

$$C^* = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & \text{вых} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ \text{vx} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & & & & & & & & & & & \\ 0 & 0 & & & & & & & & & & & \\ & & 0 & 1 & & 0 & 0 & & & & & & \\ & & & 0 & 0 & 1,14 & 0 & & & & & & \\ & & & 0 & 0,14 & & 0 & 1 & & & & & \\ & & & 0 & 0 & & 0 & 0 & & & & & \\ & & & & & & & & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 1,5 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 0 & 0,5 & 0 & 1 & 0 \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Остальные элементы в матрице C^* нули (они не записаны, чтобы подматрицы B_i выделялись нагляднее)

б) Теперь остаётся вычислить сумму матриц: $C_r = C^* + Z_r$

$$C_r = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & \text{вых} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ \text{вых} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,14 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Теперь мы имеем математическую модель процесса заправки маслобака самолёта Ил-76ТД-ВД, пригодную для анализа и совершенствования. Для представления всего процесса обслуживания ВС необходима разработка моделей коллективных действий специалистов и их объединение в метаструктуры. Данные модели имеют практическое применение, реализуясь впоследствии в виде тренажёрных комплексов, используемых для подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов по обслуживанию и эксплуатации ВС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе методики структурно-алгоритмического моделирования разработана модель ЦД специалиста по ТОиР, производящего заправку маслом двигателя самолета Ил-76ТД. Полученное в результате структурно-алгоритмического моделирования математическое описание деятельности специалиста по ТОиР адекватно отображает всю сложность профессиональной деятельности. Математическая модель может развёртываться и конкретизироваться в ходе проектирования.

Для разработки конкретных средств контроля и управления требуется дальнейшее синтезирование структур коллективных действий из полученных структур индивидуальных действий всех специалистов, выполняющих ТОиР самолёта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Дос.9806, Основные принципы учёта человеческого фактора в руководстве по проведению проверок безопасности полётов [Текст]. – Монреаль: ИКАО, 2002. – 224с.
- 2 Дос.9683, Руководство по обучению в области ЧФ [Текст]. – Монреаль: ИКАО, 1998. – 333с.
- 3 Печников, А.Н. Теоретические основы психолого-педагогического проектирования автоматизированных обучающих систем [Текст]/А.Н.Печников. – Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1995. – 322 с.
- 4 Горский, Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления [Текст] / Ю.М. Горский, В.А. Веников. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 322 с.
- 5 Суходольский, Г.В. Математические методы в психологии [Текст] / Г.В. Суходольский. – Харьков: Гуманитарный центр, 2008. – 284с.
- 6 Тихонова, А.А. Модели, методы и средства совершенствования организации системы кадрового обеспечения технического обслуживания воздушных судов [Текст]: дис.... канд. техн. наук: защищена 26.12.2013; утв. 30.06.2014/ Тихонова Анастасия Алексеевна. – Самара: СГАУ, 2013. – 164с.

Учебное издание

Тихонова Анастасия Алексеевна

**СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Кретинина
Доверстка Т.С. Зинкина

Подписано в печать 07.06.2016. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 3,25.
Тираж 300 экз. Заказ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34.