УДК 656.7.084.17(08)

А.Н. РЕВА[1], И.М. УСТИМЕНКО[2] , В.Н. КОЛТАКОВ[2]

[1] ***Кировоградский национальный технический университет, Украина;***
[2] ***ФГУП «Госкорпорация по организации воздушного движения», филиал «Аэронавигация Центральной Сибири», Красноярск, Россия***

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В СИСТЕМЕ АЭРОНАВИГАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЕТОВ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО ЦЕНТРА ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ)

Ориентируясь на признаки так называемой безопасной организации, сформулированные ИКАО, адаптирован математический аппарат теории графов для проактивного исследования эффективности коммуникаций в авиационных структурах. Исследована официальная топология функциональной организации службы движения Красноярского центра обслуживания воздушного движения, представленной в виде модели-графа, совместимой с его целями, характеристиками актуальной окружающей среды и отображающей существующую организацию коммуникаций между ее составными, активными элементами с учетом соответствующей степени сложности, стандартизированных процедур, централизованного принятия решений. Возможности системы и ограничения на реализацию намеченных целей и основных направлений ее развития оценены коэффициентами масштабности, связности, равномерности нагрузки, изолированности рабочих постов.

Ключевые слова: *безопасность авиационных систем, методы теории графов и структурно-функционального анализа, служба движения, показатели эффективности актуальной организации коммуникаций, стратифицированная форма представления структур.*

Постановка проблемы

Возрастающие требования к обеспечению безопасности полетов (БП) [1], обеспечение эффективного функционирования современного авиационного предприятия требуют поиска новых путей совершенствования управления и организации производства. Прежде всего, это связано с факторами внешнего окружения, определяемых быстрым развитием новых технологий, усложнением и многообразием авиационной техники (АТ) и предлагаемых услуг по перевозкам пассажиров и грузов, появлением большого количества конкурентоспособных предприятий, возросшими требованиями пользователей воздушных перевозок, увеличением объемов и скорости получения информации, новыми знаниями, необходимостью унификации производства.

В этой связи в рамках стратегий управления БП Международной организации гражданской авиации (ИКАО) (рис. 1), определяющих, в том числе, тенденции развития мировой аэронавигационной системы на период до 2025 года [2, 3], во взаимосвязи совместной программы в области обеспечения БП, осуществляемой Агентством «Евроконтроль», в Аэронавигационной системе России (АСР) в настоящее время проходят глобальные изменения. При этом, учитывая влияние человеческого фактора (ЧФ) на БП [4], руководителем Росаэронавигации, А.В. Нерадько, на заседании Правительства РФ, состоявшемся 04.10.2006 г., было заявлено: «В перспективе на 25 лет авиадиспетчер останется основным звеном в принятии решений при аэронавигационном обслуживании полетов. Поэтому в концепции уделено важное внимание снижению риска катастроф по причинам человеческого фактора, решения социальных проблем, адаптации персонала к условиям внедрения новой техники и технологий, которые могут влиять на безопасность полетов».

Отметим, что в соответствии с требованиями ИКАО к безопасной организации любой институт управления в гражданской авиации (ГА), в том числе и АСР, как система должен иметь развитую структуру, разработанную с учетом [5]:

– соответствующего уровня сложности;
– стандартизированных процедур управления;
– централизованного принятия решений (ПР);
– совместимости с целями организации и характеристиками окружающей социальной среды.

Поэтому и система обслуживания воздушного движения (ОВД) России должна отвечать таким объективным требованиям:

– базироваться на основных принципах и стратегиях ИКАО;
– учитывать передовой опыт ведущих авиационных держав;

© А.Н. Рева, И.М. Устименко, В.Н. Колтаков

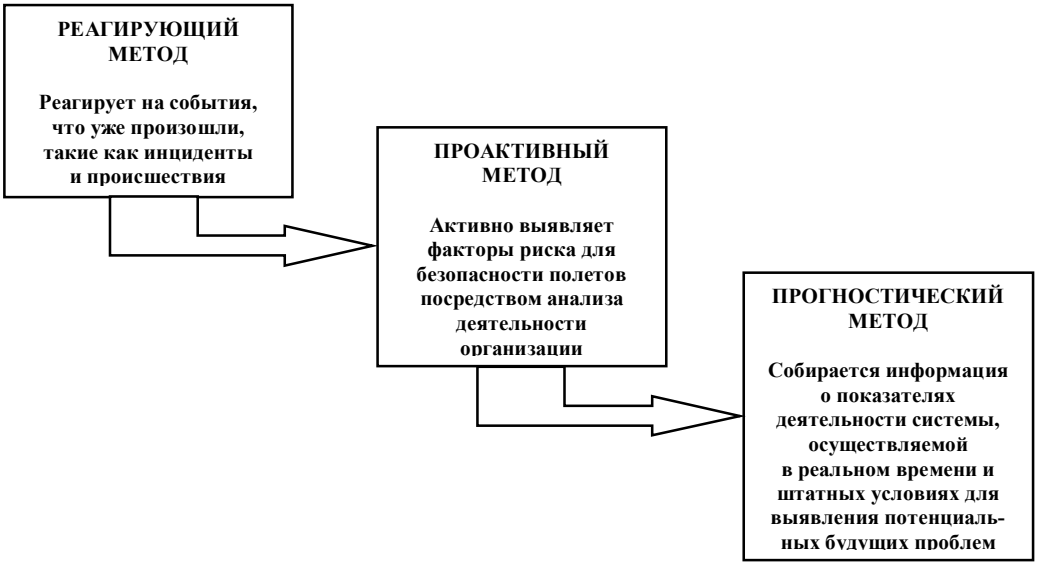

Рис. 1. Стратегии управления безопасностью полетов (ИКАО, 2009)

– быть экономически эффективной.

При этом субрегиональная система ОВД должна быть однородной и унифицированной:

– внутри отдельной страны;
– между странами – соседями;
– между группами стран (регионами).

Одним из путей достижения базовых требований ИКАО является гармонизация АСР. При этом необходима полная и всесторонняя проверка различных вариантов действий с точки зрения количественного и качественного сопоставления затраченных ресурсов с получаемым эффектом.

1. Анализ исследований и публикаций

Опираясь на категории и дефиниции системного анализа, в контексте наших исследований АСР:

1) под *системой* в соответствии с [6, 7] будем понимать упорядоченное некоторым образом множество элементов (подразделений, отделов, сотрудников и т.п.), взаимосвязанных между собой (в соответствии с должностными инструкциями, назначением рабочих мест (постов), особенностями организации деятельности, в т.ч. обособленными подразделениями и т. под.) и создающих некоторую общность, владеющую системным свойством эмерджентности [8 – 10];

2) под *структурой* же системы (организации) будем понимать совокупность элементов и связей между ними, определенных, исходя из распределения функций и целей, поставленных перед системой [6-9, 11-14]. Поэтому одним из главных заданий структурного анализа является построение наглядной формальной модели, которая отображала бы существующую систему взаимодействия элементов, как между собой, так и с внешней средой;

3) под *сложностью* структуры управления будем понимать:

– определение необходимого числа уровней управления;

– необходимость распределения труда и специализация по видам работ (структурные подразделения, отделы);

– степень распределения или централизации персонала;

– степень автоматизации, облегчающей связь между уровнями управления.

Отличительной особенностью любой сложной, открытой активной системы является набор функций, необходимых и достаточных для ее реализации, а именно [15, 16]:

– связь, регистрация, передача информации, перемещение ее в пространстве;

– память, хранение информации, перенос ее во времени; расчет, обработка данных, получение новой информации;

– рассудок, разум; политика.

И поскольку авиационная транспортная система (АТС) России содержит в себе весь набор этих функций и при этом является сложной, высокотехнологичной (*социотехнической*, ведь система в основном построена на связи «человек - машина»), открытой системой, то для исследования закономерностей ее функционирования и развития должен использоваться поход, при котором происходит постепенное накопление информации о системе на основе набора функций («ген» Ф.Е. Темникова), необходимого для системы данного класса, который возможно детализировать, представить в стратифицированной форме, на каждом последующем уровне [17], с последующим изучением каждой страты подсистемы, возможностью удаления, редактирования,

добавления новых страт, но при условии сохранения концепции верхней страты.

С другой стороны, исследования [18-21] показывают, что для разработки и анализа официальных структур авиационных *гуманистических систем* (в определении Л. Заде [22]) могут быть применены математические методы теории графов [6, 11, 12, 23-33]. Причем позитивная черта такого подхода заключается в минимальном потребном объеме априорной информации о структуре системы (организации) в виде наличия связи и ее направленности.

Поскольку внутри системы осуществляется перманентное взаимодействие ее подсистем и элементов, то основной закономерностью коммуникативности при взаимодействии системы со сложной средой является [24, 34]:

1) система – это целостный комплекс взаимосвязанных элементов;

2) система образует особое единство со средой;

3) любая исследуемая система представляет собой элемент системы более высокого порядка;

4) элементы любой исследуемой системы выступают как системы более низкого порядка.

2. Постановка задачи исследований

Следствием вышеизложенного является необходимость дальнейшей адаптации и развития методов системного анализа для структурно-функционального исследования официальной топологии авиационных организаций. И в работе [35] такие исследования были частично проведены, что дало возможность выявить «узкие» места в организационной структуре Красноярского центра ОВД. Однако, вопросы коммуникационной эффективности структуры в ней рассмотрены не были.

Поэтому ***целью*** статьи является оценка коммунактивной эффективности официальных авиационных структур, а именно АСР, для повышения БП при организации ОВД.

3. Анализ структурно-функциональной схемы Красноярского центра обслуживания воздушного движения

Схема любой структуры обычно представляется в виде графа, где кружками, являющимися узлами графа, обозначаются сотрудники аппарата и его подразделения, а линиями – взаимосвязи между ними. Считается, что все линии, соединяющие два узла, одинаковы и представляют собой единицу расстояния.

Известно, что эффективность достижения целей, поставленных перед организацией, существенным образом зависит от организации ее структуры, т.е. от характера соединения подструктур, исполнителей в ее середине. Поэтому рассмотрим сначала типовые виды структурно-функциональной организации деятельности (рис. 2) [6, 11, 12, 23-33].

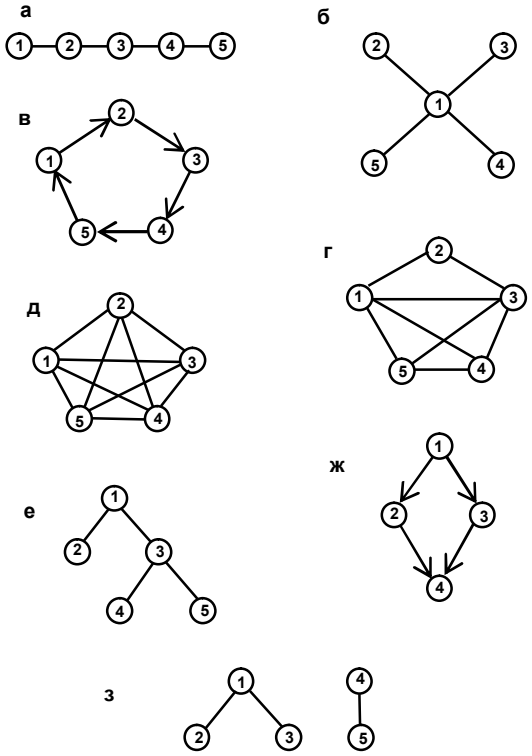

Рис. 2. Примеры типовой функциональной организации деятельности: а – «цепочка», б – «звезда», в – «круг (кольцо)», г – «сеть» (неполная), д – «сеть» (полная), е – «дерево», ж –«ромб», з – «несвязанная»

Деятельность организуется по принципу «цепочки» (рис. 2, а), когда процес выработки решения разбивается на ряд последовательных операций, каждая из которых поручается отдельному подразделению (подструктуре), или, если подразумевается деятельность внутри подразделения, - отдельному исполнителю – его члену.

Когда необходимые операции выполняются параллельно и независимо одна от одной, когда их планирование и координация осуществляется каким-нибудь определенным исполнителем или специальным подразделением, функциональная организация деятельности представляет собой «звезду» (рис. 2, б). При этом считается, что деятельность якобы относительно проста и решение соответствующих задач не требует переработки больших объемов информации либо исполнения сложных алгоритмов деятельности. То есть, потенциальные связи отдельных структурных подразделений используются только частично. Наоборот, более полное их использование снижает скорость решения задачи и повышает вероятность возникновения ошибок.

Если процесс организован циклично, т.е. так, что операции, в него входящие, выполняются последовательно разными сотрудниками или структурными подразделениями, но при этом конечная операция одного цикла является начальной для последующего, то функциональная структура представляет собой «круг» (рис. 2, в).

При решении профессиональных задач ОВД, требующих переработки значительных объемов информации и выполнения сложных алгоритмов деятельности, более эффективными являются организации (или группы), со структурой, организованной по типу неполной (рис. 2, г), или полной (рис. 2, д) «сети». Считается, что в процессе дейтельности все структурные подразделения или все члены одного подразделения связаны между собой.

Иерархической назовем структуру с наличием подчиненности, т.е. неравноправных связей между элементами, когда влияние в одном из направлений намного более важно, нежели в ином (рис. 2, е, ж). Типичная иерархическая связь с влиянием вида «информация - управление» представлена на рис. 3. И естественно, что тут доминирует элемент $\mathbf{M_1}$.

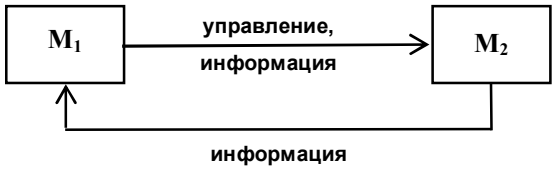

Рис. 3. Пример типичной иерархической связи

Иерархическая организация деятельности имеет такие основные особенности [11, 25]:

– последовательное вертикальное расположение подсистем, составляющих данную систему, или, точнее, вертикальная соподчиненность;

– приоритет действий или право вмешательства систем верхнего уровня в деятельность подсистем нижнего уровня;

– зависимость действий подсистем верхнего уровня от фактического исполнения подсистемами нижнего уровня своих функций.

При этом, если одновременно с иерархичеким управлением распределение обязанностей осуществляется также по принципу «звезды» (рис. 2 б), то весь спектр проблем распределяется и решается по независимым параллельным направлениям. При рассматриваемой организации деятельности в структуре управления следует иметь ввиду следующее:

во-первых, количество подструктур или сотрудников, непосредственно подчиненых подсистеме верхнего уровня (в т.ч., - руководителю) не должна превышать так называемого «магического числа» Миллера (7±2 оперативных единицы) [33, 36, 37], определяющего объем оперативной памяти человека;

во-вторых, известно [38], что осуществлять прямое распознавание, дифференциацию и запоминание образов 11 объектов способны только наиболее опытные специалисты. В противном случае деятельность значительно усложняется;

в-третьих, известен также «коэффициент неэффективности» С.Н. Паркинсона **x=19,9÷22,4**, определяющий верхнюю границу численности управляемого руководителем контингента [39].

Таким образом, речь идет об ограничениях психофизиологических возможностей человека-оператора (Ч-О) по распознаванию и запоминанию определенного числа объектов, которые необходимо обязательно учитывать при разработке, планировании и структурной организации деятельности.

Виды иерархических структур разнообразны. Среди них встречаются такие экзотические, как кольцевые (рис. 2, в), когда первый элемент доминирует над вторым, второй над третим и т.д., но последний – над первым! Или такие, что меняют направления доминирования. Но основных, наиболее важных для практики иерархических структур всего две – деревоподобная (рис. 2, е) и ромбовидная (рис. 2, ж).

Деревоподобная структура (рис. 2, е) наиболее проста для анализа и реализации. В ней почти всегда удобно выделять так называемые иерархические уровни – группы элементов, находящиеся на одинаковом (по числу промежуточных элементов) расстоянии от верхнего (главного) элемента. Примеры таких структур в искусственных и живых системах многочисленны:

– цепочка «Росавиация – Росаэронавигация – Аэронавигация Центральной Сибири – Красноярский центр обслуживания воздушного движения – диспетчерская смена – авиадиспетчер (А/Д)»;

– задача проектированиятехнического объекта (скажем, автоматизированной системы управления воздушным движением (УВД)) – от его основных характеристик (верхний уровень) – через проектирование основных частей, функциональных систем, груп, механизмов – до уровня отдельных деталей и плат;

– иерархия целей в задаче автоматизированного производства – от цели участка, заключающейся в максимальном выпуске продукции, до программного обеспечения отдельной операции на станке (цель – операция);

– в живой природе – иерархия по признаку управляемости процессов в организме, иерархия в стаде и т. п.

Отметим, что любая иерархия, в принципе, снижает возможности и, особенно, гибкость (адаптивность) системы. Инициатива элементов нижнего уровня отменяется доминированием сверху, они способны влиять на это доминирование (управление) только частично и, как правило, с задержкой.

Однако, введение иерархии резко упрощает создание и функционирование системы и потому ее применение является вынужденным, но необходимым приемом анализа сложных систем, поскольку та или иная степень иерархии наблюдается в абсолютном большинстве природных систем.

Негативные следствия введения иерархии могут быть преодолены предоставлением отдельным элементам возможности реагировать на часть влияний без строгой регламентации сверху.

Ромбовидная структура (рис. 2, ж) ведет, как минимум, к двойной подчиненности, отчетности, принадлежности нижнего элемента. Речь об участии данного элемента (структурного подразделения) в работе более, чем одного узла, блока, про использование одних и тех же данных в разных задачах.

Ведущая роль в деятельности принадлежит информационным связям между структурными подразделениями или членами одного подразделения, обусловленными их функциональным взаимодействием: чем больше их количество, тем больше возможность информационных связей и появления разнообразных видов организационных связей. Но реализация этих возможностей зависит от конкретных задач, решаемых организацией.

В процессе формирования любой структуры составляется своеобразный резерв ее возможностей или «коллективная способность». Каждый сотрудник как бы вносит в этот резерв свои способности, знания, умения и навыки. Группа интегрирует их и выступает в роли «коллективного исполнителя» (экипаж воздушного судна (ВС), диспетчерская смена). Вместе тем, участие в групповой деятельности не только агрегирует знания каждого отдельного ее члена, но шлифует и совершенствует его способности, умения, навыки.

Исходя из изложенного и опираясь на данные Internet, был построен граф, наглядно отображающий структуру Красноярского центра ОВД (рис. 4). Сертификация вершин графа представлена в табл. 1.

При этом соответствующая структуризация проведена методами и моделями системного анализа, применяемыми при проектировании и организации функционирования систем управления предприятиями и организациями к которым непосредственно относятся и социотехнические системы, а именно, методами статистического имитационного моделирования, теоретико-множественными, логическими, графическими, организационной эргономики [11, 12, 23, 24, 28-33, 40-42].

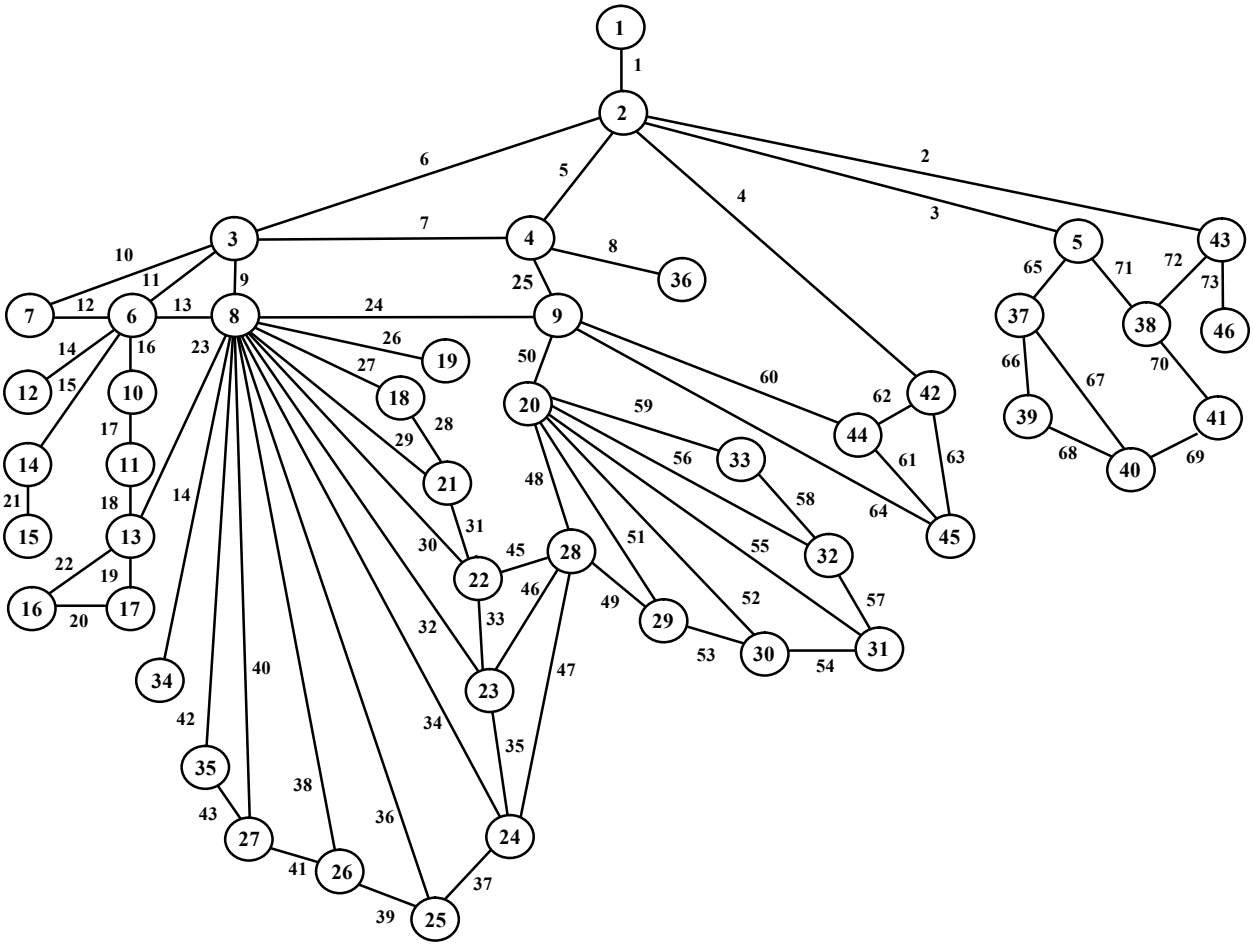

Рис. 4. Топология Красноярского центра обслуживания воздушного движения

Таблица 1

Сертификация вершин графа-модели Красноярского центра обслуживания воздушного движения

Вершина графа №	Сертификация вершины	Вершина графа №	Сертификация вершины
1	начальник центра обслуживания воздушного движения	21-27	сектора районного центра
2	начальник службы движения	28	диспетчерский пункт подхода
3	начальник районного центра	29	диспетчерский пункт круга
4	начальник аэродромного диспетчерского центра	30	вспомогательный стартовый диспетчерский пункт
5	начальник центра поддержания квалификации	31	стартовый диспетчерский пункт
6	заместитель начальника районного центра по планированию воздушного движения	32	пункт диспетчера старта, руления
7	специалист по аэронавигационной информации	33	диспетчерский пункт руления;
8	руководитель полетов районного центра	34	командный диспетчерский пункт местных воздушных линий
9	руководитель полетов аэродромного диспетчерского центра	35	местный диспетчерский пункт
10	инженер-программист	36	диспетчер-инструктор аэродромного диспетчерского центра
11	ведущий специалист	37	старший диспетчер-инструктор тренажера
12	штурман	38	ведущий специалист английского языка
13	старший специалист	39	диспетчер-инструктор тренажера осуществляющий управление воздушным движением
14	старший специалист базы данных	40	диспетчер-инструктор тренажера не осуществляющий управление воздушным движением
15	специалист базы данных	41	специалист английского языка
16	специалист по планированию полетов вне воздушных трасс	42	специалист группы взаимодействия и планирования воздушного движения
17	специалист по планированию полетов по воздушным трассам	43	диспетчер-инспектор по безопасности полетов
18	старший диспетчер районного центра	44	специалист аэропорта «Черемшанка»
19	диспетчер-инструктор районного центра	45	специалист аэропорта «Емельяново»
20	старший диспетчер аэродромного диспетчерского центра	46	техник по анализу средств объективного контроля

Из наглядного анализа графа на рис. 4 вытекает, что функциональная структура Красноярского центра ОВД организована по иерархичному принципу с применением таких элементарных соединений, как «звезда», «сеть (неполная)», «ромб» и «дерево». При этом понятно, что начальник центра и начальник службы движения (СД) могут непосредственно выходить при выполнении управленческих функций на любое подчиненное подразделение, либо на любого из сотрудников. Далее, рассматривая Красноярский центр ОВД как онтологическую систему низкого порядка, произведем распределение основных функций по подразделениям организационной структуры, стратифицируя ее.

Структурная схема Красноярского центра ОВД несомненно может рассматриваться как коммуникационная система, состоящая как из отдельных исполнителей, так и из объединенных в группы, работающих на предписанных робочих постах исполнителей. При этом исполнители имеют возможность производить обмен информацией либо непосредственно друг с другом, либо через выделенный канал связи, обеспечивающий возможность взаимодействия в обоих направлениях в пределах системы.

Для обеспечения потребного уровня детализации и полноты исследований система была стратифицирована, по принципу актуальной иерархичности. При этом номера страт соответствуют номерам вершин графа (рис. 4), а уровни обозначены римскими цифрами (рис. 5).

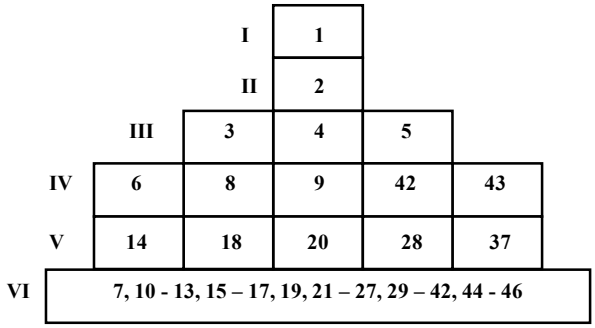

Рис. 5. Стратифицирование структурной схемы Красноярского центра обслуживания воздушного движения

Локальные отношения вершин графа (рис. 4) к каждой страте подуровней общей системы представ-

лены на рис. 6 – 8 с указанием количества подуровней в каждой страте (обозначены римскими цифрами).

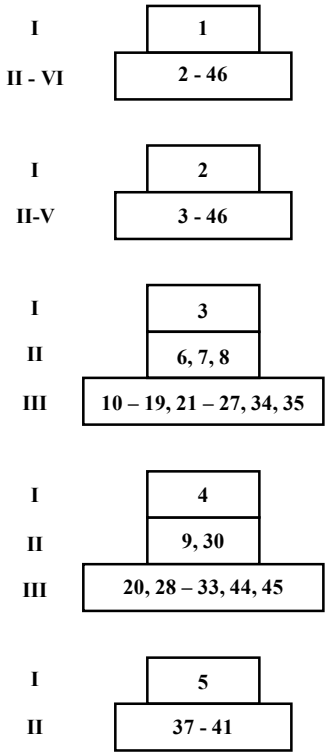

Рис. 6. Стратифицирование подуровней I, II, III системы на рис. 5

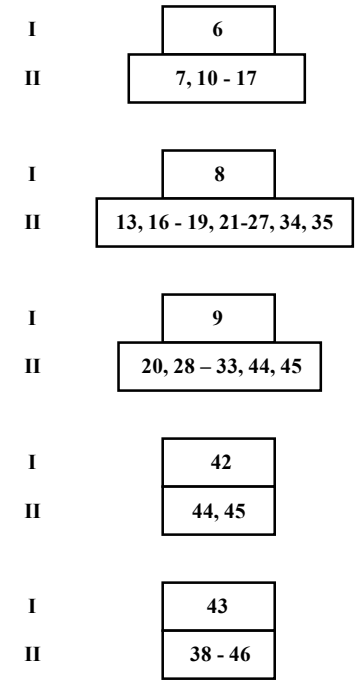

Рис. 7. Стратифицирование IV подуровня системы на рис. 5

Наилучшая коммуникационная система, по определению, должна содержать в себе такие признаки [5, 24]:

1) равномерность структуры (фактор равномерности нагрузки), т. е. система должна быть сбалансирована таким образом, что все исполнители (рабочие посты) имеют одинаковое количество входящих и выходящих каналов связи, либо имеют ограничения по количеству составляющих, подчиненных одной вершине (в соответствии с рассмотренными выше характеристиками психофизиологических возможностей Ч-О по распознаванию и запоминанию ограниченного количества объектов управления);

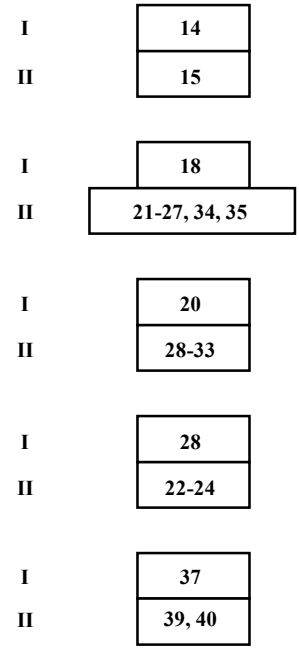

Рис. 8. Стратифицирование V подуровня системы на рис. 5

2) в системе недопустимо наличие «вырожденных» ветвей (робочих постов), т.е. ветвей, которые не связаны с системой, либо которым подчинена всего одна составляющая, что практически означает отсутствие структуризации (фактор изолированных постов);

3) система должна иметь наименьшее количество нуждающихся в коммуникационной связи робочих постов (фактор рабочего места);

4) каналы связи должны быть организованы между всеми рабочими постами (фактор каналов связи);

5) система должна быть построена по единому признаку структуризации.

4. Эффективность организации коммуникаций в Красноярском центре обслуживания воздушного движения

Как вытекает из рис. 4, коммуникационная система-граф Красноярского центра ОВД содержит **n=46** вершин и **m=73** ребра. При этом уже из визуального анализа коммуникационной структуры вытекает, что все исполнители (рабочие посты) являются связанными, из чего следует отсутствие фактора изолированности рабочих постов.

Установлено, что фактическое количество связей в системе превышает минимально-необходимое, т.е. обеспечено такое их количество, при котором структура сохраняет работоспособность при утрате одной или даже более связей. Это достаточно весомый аргумент, указывающий на то, что коммуникативная структура Красноярского центра ОВД обладает высокой степенью живучести (основная производственная деятельность системы адаптирована к внешним воздействиям, экономическим, социальным и т.п.) и с точки зрения безопасности функционирования системы, особенно в сбойных ситуациях, она способна продолжать производить продукт своей деятельности.

Поскольку система является иерархической, то естественно, что рабочие посты верхнего уровня (руководители) имеют право абсолютного приоритета или право непосредственного вмешательства в деятельность рабочих постов (исполнителей) вплоть до глубины самого нижнего уровня. Однако, учитывая психофизиологические возможности Ч-О, при проведении проактивной оценки коммуникативной эффективности Красноярского центра ОВД выявлено, что нагрузка на руководителя полетов (РП) районного центра (РЦ) вершина № 8 (рис. 4) на 36% превышает допустимый норматив и вплотную приближена к «коэффициенту неэффективности». Учитывая влияние ЧФ на БП [4], перманентно актуален поиск решений позволяющих снизить интеллектуальную нагрузку на РП РЦ.

Поскольку организация каналов связи по принципу “полный” граф (каждый с каждым) экономически нецелесообразна и даже чревата угрозой для БП, были учтены также существующие в центре ОВД ограничения на число каналов связи А/Д, осуществляющих за пультом непосредственное УВД.

Эффективность межпостовых коммуникаций $\mathbf{E_n}$ рассматривается как мера отклонения коммуникаций от идеального состояния, при котором величина $\mathbf{E_n}$ равна единице, и определяется из матрицы коммуникаций рабочих постов, называемой также матрицей инцидентности вершин графа $\mathbf{A} = \| \mathbf{a_{ij}} \|$ (табл. 2), элементы которой находятся из условия:

$$\mathbf{a_{ij}} = \begin{cases} 1, \text{ если вершины i и j связаны общим ребром,} \\ 0 - \text{в противоположном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Далее вычисляются четыре компонента - составляющих $\mathbf{E_n}$ [24]. Первый из них, называемый масштабным ($\mathbf{E_{масшт.}}$), необходим для оценки ухудшения эффективности коммуникаций в условиях увеличения масштаба задействованной на выполнение общей задачи системы (или подсистем в системе), т.е. числа рабочих постов. Величина $\mathbf{E_{масшт.}}$ равна:

$$\mathbf{E_{масшт.}} = \exp\left[-\left(1-\frac{2}{n}\right)\right], \quad (2)$$

где **n** - число рабочих постов, задействованных для выполнения операции **u**.

Для данных табл. 2, для страты №2 (рис. 5) получили следующий результат:

$$\mathbf{E^{(2)}_{масшт.}} = \exp\left[-\left(1-\frac{2}{45}\right)\right] = 0,3845 .$$

При исследовании системы все расчеты произведены для страт указанных в табл. 3.

Таблица 2

Формирование матрицы коммуникаций рабочих постов (инциденций вершин графа) Красноярского центра обслуживания воздушного движения (фрагмент)

Пост (вершина) i	Пост (вершина) j															$\sum_j a_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	45	46	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	46	47	48
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	6
3	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	...	0	0	5
4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0	0	4
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	...	0	0	6
7	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
8	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	...	0	0	15
9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	...	1	0	5
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	...	0	0	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	...	0	0	2
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0	0	3
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
															$\sum_i \sum_j a_{ij}$	144

Таблица 3

Оценки организации коммуникаций в Красноярском центре обслуживания воздушного движения

№ страты	n	m	Компоненты межпостовых коммуникаций			
			$E_{масшт.}$	$E_{связн.}$	$E_{равном.}$	E_n
1	2 (46)	1 (73)	0,3842	0,3944	0,6463	0,4750
2	45	72	0,3845	0,3956	0,6559	0,4787
3	32	51	0,3916	0,4254	0,7138	0,5103
4	12	17	0,4345	0,9131	0,9214	0,4694
5	6	7	0,5134	0,0224	0,9809	0,6842
6	9	9	0,4594	0,3679	0,9206	0,5826
8	33	49	0,3916	0,4216	0,7268	0,5133
9	10	15	0,4493	0,5488	0,9474	0,6485
13	2	3	1	1	0,9844	0,9948
14	2	1	1	1	0,9776	0,9925
18	8	8	0,4224	0,2077	0,9708	0,5336
20	7	11	0,4895	0,0882	0,9499	0,5092
28	4	5	0,6065	1	0,9694	0,8586
37	3	3	0,7165	1	0,9904	0,9023
42	3	3	0,7165	1	0,9973	0,9046
43	3	2	0,7165	1	0,9835	0,90

ПРИМЕЧАНИЕ: *оценка эффективности коммуникаций подана в порядке подчиненности рабочих постов службы обслуживания воздушного движения в Красноярском центре ОВД,*

Вторая компонета, или компонент связности $\mathbf{E_{связн.}}$, отражает повышение эффективности коммуникаций при большом числе взаимных связей в системе. При этом полной системой коммуникаций называют такую, в которой обеспечена связь по всем направлениям между всеми рабочими постами, т.е. речь идет об организации взаимодействия исполнителей по схеме "полный" граф ("полная" сеть) [6, 11, 12, 24]. Поскольку в этом случае для рабочих постов имеется **n(n–1)** возможных каналов связи, рассматриваемый компонент может быть оценен так:

$$\mathbf{E_{связн.}} = \exp\left\{-\left[1-\sum_i\sum_j a_{ij}\Big/\big(n\cdot(n-1)\big)\right]\right\}, \quad (3)$$

где двойная сумма a_{ij} – общее число связей, т.е. число единиц в матрице коммуникаций **A**.

Для данных табл. 2 имеем:

$$\mathbf{E^{(2)}_{связн.}} = \exp\left\{-\left[1-\frac{144}{45\cdot(45-1)}\right]\right\} = 0,3956.$$

Назначение третьего компонента – отразить равномерность нагрузки на пользователя (исполнителя) в системе. Сумма элементов в некоторой строке матрицы соответствует числу каналов связи, подходящих к рассматриваемому рабочему посту. В идеале при равномерной нагрузке все суммы по строкам и столбцам должны быть одинаковыми.

Неравномерность является функцией величин:

$$\sum_{i=1}^{n}\left|a_i - \bar{a}\right|, \quad (4)$$

где $\mathbf{a_i}$ – сумма элементов $\mathbf{a_{ij}}$ (единиц) в i-й строке, $i=\overline{1,n}$; $\bar{a}=\sum_i\sum_j a_{ij}\Big/n$ – генеральное среднее числа инцеденций вершин графа.

Компонент равновмерности, имеющий максимальное значение 1, оценивается как:

$$\mathbf{E_{равн.}} = \exp\left\{-\sum_n\left|a_i-\bar{a}\right|\Big/\sum_i\sum_j a_{ij}\right\}. \quad (5)$$

Для данных табл. 2 получены следующие результаты вычислений:

$$\bar{a}=\sum_i\sum_j a_{ij}\Big/n=\frac{144}{46}=3,13.$$

Тогда в соответствии с формулой (5), для страты №2 имеем:

$$\mathbf{E^{(2)}_{равн.}} = \exp\left\{-\frac{1}{144}\Big(\left|1-3,13\right|\cdot 7+\left|2-3,13\right|\cdot 11+ +\left|3-3,13\right|\cdot 15+\left|4-3,13\right|\cdot 7+\left|5-3,13\right|\cdot 11+ +\left|6-3,13\right|\cdot 2+\left|71-3,13\right|+\left|15-3,13\right|\Big)= =\exp\left\{-\frac{60,73}{144}\right\}=\exp\{-0,4217\}=0,6559.\right.$$

Последний компонент, характеризующий изолированность рабочих постов $\mathbf{E_{изол.}}$, определяет такое общее их число, которые не имеют либо входящих, либо выходящих каналов связи, т.е. лишены возможности общения хотя бы в одном направлении. Он вычисляется как

$$\mathbf{E_{изол.}} = \exp\left\{-\left(V_{столб.}+V_{строк}\right)\Big/\left(2\cdot n\right)\right\}, \quad (7)$$

где $\mathbf{V_{столб.}}$ – число пустых столбцов матрицы **A**;

$\mathbf{V_{строк}}$ – число устых строк матрицы **A**.

Поскольку нами была установлена связанность графа, представленного на рис. 4, и его подграфов, иллюстрирующих структурно-функциональную и коммуникативную организацию Красноярского центра ОВД, то компонентом $\mathbf{E_{изол.}}$ можно пренебречь.

Таким образом, полная эффективность коммуникаций рабочих постов определяется простым агрегированием рассмотренных компонент с одинаковым весом:

$$\mathbf{E_{п}} = \mathbf{E_{масшт.}} + \mathbf{E_{связн.}} + \mathbf{E_{равн.}} = \frac{1}{3}\left\{\exp\left[-\left(1-\frac{2}{n}\right)\right] + \exp\left[-\left(1-\frac{\sum_i\sum_j a_{ij}}{n\cdot(n-1)}\right)\right] + \exp\left(-\frac{\sum_n |a_i-\bar{a}|}{2\sum_i\sum_j a_{ij}}\right)\right\}. \quad (6)$$

Итак, полная эффективность коммуникаций рабочих постов Красноярского центра ОВД составит:

$$\mathbf{E_{45}^{(2)}} = \mathbf{E_{масшт.}^{(2)}} + \mathbf{E_{связн.}^{(2)}} + \mathbf{E_{равн.}^{(2)}} =$$

$$= \frac{1}{3}(0,3845 + 0,3956 + 0,6559) = 0,4787.$$

Результаты вычислений (табл. 3) дают представление об эффективности коммуникаций подразделений Красноярского центра ОВД.

Выводы

Подводя итоги полученным и представленным в данной статье новым научным результатам, выделим такие наиболее существенные положения.

1. Осуществлена дальнейшая адаптация и развитие методологии организационной эргономики и теории графов для проведения системного анализа и оценки функциональной эффективности официальной структуры Красноярского центра ОВД, представленную в виде графа. Данный граф рассматривается как коммуникационная система, стратифицированная для полноты исследований и обеспечения потребного уровня детализации.

2. Определено, что функциональная структура Красноярского центра ОВД организована по иерархичному принципу с применением такой типовой топологии организационных структур, как «звезда», «сеть (неполная)», «ромб», «дерево». При этом установлено, что структура центра ОВД не имеет изолированных рабочих постов, отвечает целям организации, обладает высокой степенью живучести и с точки зрения функционирования является безопасной.

3. Оценки эффективности коммуникаций структуры Красноярского центра ОВД произведена путем вычисления коэффициентов масштабности, равномерности, связности рабочих постов, а также обобщенного показателя эффективности коммуникаций. В результате их анализа установлено:

– эффективность коммуникаций рабочих постов № 3, 6, 8, 9, 18, 20 близка к критическому уровню и необходимо производить поиск путей повышения эффективности их коммуникаций;

– эффективность коммуникаций рабочих постов № 2, 4 требуется срочно повысить, поскольку она ниже критического уровня;

– нагрузка на рабочие посты № 2, 3, 8 – неравномерна, что снижает эффективность функционирования этих подсистем и системы в целом.

4. Методы организационной эргономики и тео-рии графов применимы как для ретроспективного анализа действующих организационных структур, так и для проактивного исследования вновь разрабатываемых.

5. Дальнейшие исследования эффективности организационных структур в АСР целесообразно проводить их моделированием с применением кибернетических методов информационных цепей проф. А.А. Денисова.

Литература

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) [Текст]: Doc. ICAO 9859-AN/474. – 2-е изд. – Монреаль: Канада, 2009. – 318 с.

2. Организация воздушного движения (правила аэронавигационного обслуживания) [Текст]: Doc. ICAO 4444-ATM/501. – 15-е изд. – Монреаль: Канада, 2007. – 273 с.

3. Руководство по глобальным характеристикам аэронавигационной системы [Текст]: Doc. ICAO 9883. – Монреаль: Канада, 2009. – 194 с.

4. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах [Текст]: сб. мат. № 7. Человеческий фактор. Циркуляр ИКАО 240-AN/144. – Монреаль: Канада, 1993. - 76 с.

5 Человеческий фактор в управлении и организации [Текст]: сб. материалов № 10. Человеческий фактор. Циркуляр ИКАО 247 – AN / 148. – Монреаль: Канада, 1993. - 47 с.

6. Нечипоренко, В.И. Структурный анализ систем (Эффективность и надежность) [Текст]: / В.И. Нечипоренко. - М.: Сов. радио, 1977. – 216 с.

7. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справ. в 10 т. – М.: Машиностроение. Т.1: Методология. Организация. Терминология / под ред. А. И. Рембезы. - 1986. - 224 с.

8. Перегудов, Ф.И. Введение в системный аналіз [Текст]: учеб. пособие. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.

9. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справ. в 10 т. – М.: Машиностроение. Т.3: Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – 1988. - 328 с.

10. Рева, О.М. Однокрокові методи рішення задач з векторним показником ефективності: метод. вказівки з курсу Основи теорії прийняття рішень [Текст] / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1996. – 23 с.

11. Денисов, А.А. Теория больших систем управления [Текст]: учеб. пособие / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.

12. Шибанов, Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника [Текст] / Г.П. Шибанов. - М.: Машиностроение, 1983. - 263 с.

13. Клир, Дж. Системология: Автоматизация решения системных задач [Текст]: пер. с англ. Дж Клир, М. А. Зуева; под ред. А.И. Горлина. - М.: Радио и связь, 1990. - 544 с.

14. Рева, О.М. Колективні рішення у невеликій групі авіаційних операторів: консп. лекцій з курсу Основи теорії прийняття рішень [Текст] / О.М. Рева. - Кіровоград: ДЛАУ, 1998. - 33 с.

15. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.

16. Новиков, Д.А. Курс теории активных систем / Д.А. Новиков, С.Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.

17. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа [Текст]: учеб. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 512 с.

18. Оцінка ефективності функціо-нальної організації диспетчерської зміни методами теорії графів [Текст] / О.М. Рева, С.Д. Кульназаров, Б.Ф. Сагун [та ін.] // Наукові праці академії/ Мін-во освіти і науки України, Державна льотна академія України. - Кіровоград: ДЛАУ, 1998. - Вип. ІІІ. - Ч.П. Моделювання та управління в аеронавігаційних системах. - С. 30-35.

19. Рева, О.М. Методи прикладної теорії інформації в оцінці ефективності структурної організації невеликої групи авіаційних операторів [Текст] / О.М. Рева, Н.В. Борота // Вісник Київськ. міжнар. ун-ту цив. авіації. - К.: КМУЦА, 1999. - № 2. - С. 272-278.

20. Рева, А.Н. Показатели структурной эффективности организации диспетчерской смены как малой группы авиационных операторов [Текст] / А.Н. Рева, С.Д. Кульназаров // Перспективы развития гражданской авиации и подготовка высококвалифицированных кадров: 1 Междунар. конф. 18-22 сент. 2000 г. [Алматы]: сб. тр. / под ред. проф. К.Б. Алдамжарова. - Алматы, 2000. - Ч.І. - С. 83-92.

21. Рева, О.М. Оцінка ефективності структурної організації екіпажей повітряних суден як невеликих груп операторів [Текст] / О.М. Рева, С.А. Іванов, І.В. Коцарь, Я.В. Лішанков // Наукові праці академії / Мін-во освіти і науки України, Державна льотна академія України. – Кіровоград, 2000. – Вип. IV. – Ч. І. – С. 240-251.

22. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст]: пер. с англ. / под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского. - М.: Мир, 1976. - 165 с.

23. Берж, К. Теория графов и ее применение [Текст]: пер. с. франц. / К. Берж. - М.: ИЛ, 1962. – 320 с.

24. Зигель, А. Модели группового поведения в системе "человек - машина" (с учетом психосоциальных и производственных факторов) [Текст]: пер. с англ. / А. Зигель, Дж. Вольф; под ред. Г.Е. Журавлева. - М.: Мир, 1973. - 263 с.

25. Месарович, М.Д. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М.Д. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. - М.: Мир, 1973. - 344 с.

26. Янбых, Г.Ф. Проектирование структуры отраслевой сети вычислительных центров [Текст] / Г.Ф. Янбых, Г.Ф. Этингер. - Л.: Энергия, 1974. - 104 с.

27. Цвиркун, А.Д. Структура сложных систем [Текст] / А.Д. Цвиркун. - М.: Советское радио, 1975. - 198 с.

28. Душков, Б.А. Основы инженерной психологии [Текст]: учеб. для вузов / Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин; под ред. Б.Ф. Ломова. - М.: Высш. шк., 1986. – 448 с.

29. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационніми системами [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2001. – 124 с.

30. Организационная психология [Текст] / Л.А. Верещагина, П.К. Власов, И.М. Карелина, Л.А. Киселева, С.Г. Тарасов, Г.В. Суходольский. – Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2004. – 256 с.

31. Заложнев, А.Ю. Внутрифирменное управление. Оптимизация процедур функционирования [Текст] / А.Ю. Заложнев. – М.: ЗАО ПМСОФТ, 2005. – 290 с.

32. Занковский, А.Н Организационная психология [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.Н. Занковский. – М.: Флинта: МПСИ, 2006. – 648 с.

33. Герасимов, Б.М. Організаційна ергономіка: Методи та алгоритми досліджень і проектування: моногр. [Текст] / Б.М. Герасимов. В.В. Камишин. – К.: Інфосистем, 2009. – 212 с.

34. Садовский, В.Н. Задачи, методы и приложения общей теории систем [Текст] / В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 3-23.

35. Рева, О.М. Оцінка структурної ефективності служби руху (на прикладі Красноярського центра обслуговування повітряного руху) [Текст] / О.М. Рева, В.І. Вдовиченко, І.М. Устименко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - 2012. - № 10 (97). – С. 176-186.

36. Miller, G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on or capacity for processing information [Text]/ G. Miller // Psychological Review. – 1956. – № 63. – P.81-97.

37. Козелецкий, Ю. Психологическая теория решений [Текст]: пер. с польск. / Ю. Козелецкий; под ред. Б.В. Бирюкова. - М.: Прогресс, 1979. – 504 с.

38. Психология труда [Текст]: пер. со словац. / Петер Крбатя, Й. Мюллнер [и др.]; общ. ред. и предисл. К.К. Платонова. – М.: Профиздат, 1979. - 216 с.

39. Паркинсон, С.Н. Законы Паркинсона [Текст]: пер. с англ. / С.Н. Паркинсон. - М.: Прогресс, 1989. - 448 с.

40. Ивашкин, Ю.А. Структурный анализ и синтез систем человеко-машинных систем управления производством [Текст] / Ю.А. Ивашкин // Приборы и системы управления. – 1978. – № 7. – С. 1-4.

41. Человеческий фактор: Эргономика в автоматизированных системах [Текст]: пер. с. англ. в 6 т. /М. Вайсер, Б. Шнейдерман, Р. Уиллидж и др. – М.: Мир, 1991. – Т.6. - 522 с.

42. Толочек, В.А. Современная психология труда [Текст]: учеб. пособие / В.А. Толочек. – СПб.: Питер, 2009. – 479 с.

Надійшла до редакції 12.04.2013, розглянута на редколегії 12.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри проектування авіаційних двигунів С.В. Єпіфанов, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМУНІКАЦІЙ В СИСТЕМІ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОЛЬОТІВ (НА ПРИКЛАДІ КРАСНОЯРСЬКОГО ЦЕНТРУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ)

О.М. Рева, І.М. Устіменко, В.М. Колтаков

Орієнтуючись на ознаки так званої безпечної організації, що сформульовані ІКАО, адаптований математичний апарат теорії графів для проактивного дослідження ефективності комунікацій в авіаційних структурах. Досліджена офіційна топологія функціональної організації служби руху Красноярського центру обслуговування повітряного руху, поданою у вигляді моделі-графа, сумісної з його цілями, характеристиками актуального навколишнього середовища і що відображає існуючу організацію комунікацій між її складовими, активними елементами з урахуванням відповідного ступеня складності, стандартизованих процедур, централізованого ухвалення рішень. Можливості системи і обмеження на реалізацію намічених цілей і основних напрямів її розвитку оцінені коефіцієнтами масштабності, зв'язності, рівномірності навантаження, ізольованості робочих постів.

Ключові слова: безпека авіаційних систем, методи теорії графів і структурно-функционального аналізу, служба руху, показники ефективності актуальної організації комунікацій, стратифікована форма уявлення структур.

EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION COMMUNICATIONS IN A SYSTEM OF AERONAVIGATION SERVICE OF FLIGHTS (ON THE EXAMPLE OF KRASNOYARSK AIR TRAFFIC SERVICE CENTER)

A.N. Reva, I.M. Ustimenko, V.N. Koltakov

Being guided by the signs of the so-called safe organization formulated by IKAO, the mathematical apparatus of the graph theory for pro-active research of communications efficiency in aviation structures is adapted. The official topology of the functional organization of a traffic department of the Krasnoyarsk air traffic service center is investigated. It's presented in the form of the graph model compatible with its purposes, actual environment characteristics and displaying the existing organization of communications between its compound, active elements taking into account the corresponding degree of complexity, standardized procedures and centralized decision-making. System capabilities and restrictions on realization of the planned purposes and the main directions of its development are estimated by factors of scale, connectivity, uniformity of loading, isolation of working positions.

Keywords: aviation systems safety, methods of the graph theory and the structurally functional analysis, a traffic department, indicators of efficiency of the actual organization of the communications, the stratified form of representation of structures.

Рева Алексей Николаевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры автоматизации производственных процессов Кировоградского национального технического университета, Кировоград, Украина, e-mail: ran54@meta.ua.

Устименко Иван Михайлович – старший диспетчер-инструктор тренажера отдела профессиональной подготовки персонала обслуживания воздушного движения Госкорпорации по организации воздушного движения «Аэронавигация Центральной Сибири», Красноярск, Российская Федерация, e-mail: ustimenkoivan@inbox.ru.

Колтаков Василий Николаевич – заместитель директора по управлению персоналом Госкорпорации по организации воздушного движения филиала «Аэронавигация Центральной Сибири», Красноярск, Российская Федерация, e-mail: koltakov@cs.gkovd.ru.