

УДК 656.7.084.17(08)

О.М. РЕВА<sup>1</sup>, В.І. ВДОВИЧЕНКО<sup>2</sup>, І.М. УСТИМЕНКО<sup>3</sup><sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, Україна;<sup>2</sup>Корпоративний центр підготовки – Інститут аеронавігації,  
Москва, Російська Федерація;<sup>3</sup>Держкорпорація по організації повітряного руху «Аеронавігація Центрального Сибіру», Красноярськ, Російська Федерація

## ОЦІНКА СТРУКТУРНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СЛУЖБИ РУХУ (НА ПРИКЛАДІ КРАСНОЯРСЬКОГО ЦЕНТРА ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ)

Орієнтуючись на ознаки так званої безпечної організації, що були сформульовані ІКАО як узагальнення досвіду ефективного і безпечного функціонування провідних авіакомпаній світу, та враховуючи вплив людського чинника на ефективність цього функціонування, адаптований математичний апарат теорії графів для проактивного дослідження досконалості офіційних авіаційних структур шляхом визначення коефіцієнтів і показників зв'язності, структурної надмірності, моменту групи, рівномірності розподілу зв'язків, структурної компактності, діаметра структури, ступеня централізації, периферійності вузлів та графа у цілому тощо. Практичне застосування зазначених методів проілюстровано на дослідженні офіційної структури функціональної організації служби руху Красноярського центру обслуговування повітряного руху. Побудована формальна модель-граф, що сумісна з цілями організації і характеристиками навколишнього середовища і відображає існуючу взаємодію її складових елементів з урахуванням відповідного ступеня складності, стандартизованих процедур і централізованого прийняття рішень.

**Ключові слова:** структурна безпека авіаційних систем, методи теорії графів і структурного аналізу, служба руху, показники ефективності структурної організації.

### Постановка проблеми

Одна з сучасних концепцій ІКАО та Євроконтролю з забезпечення ефективності функціонування цивільної авіації (ЦА) полягає у активній розробці і впровадженні в практику діяльності авіакомпаній, інших авіаційних установ проактивних заходів з попередження негативного впливу людського чинника (ЛЧ) на безпеку польотів (БП). При цьому рекомендується, щоби відповідні дослідження з розробки цих заходів охоплювали усі ланки діяльності ЦА, у тому числі, вирішували б організаційно-управлінські проблеми [1].

Йдеться про те, що авіаційна транспортна система (АТС) є високотехнологічною, оскільки акумулювала в собі сучасні наукові досягнення з самих різних галузей досліджень. Тому саму систему та її підсистеми називають *соціотехнічними*, що указує на складні взаємодії між їх людським і технічним компонентами [2]. В безпеці цих систем ключовими поняттями є *чинники управління* і *події з організаційних причин*, які відображають той факт, що визначені, властиві соціотехнічним системам характеристики (скажімо, складність, динамічність, невизначеність та непередбачуваність цілого ряду недо-

ліків та ін.) неминуче приводять до авіаційної пригоди (АП). У соціотехнічних системах заходи по виправленню зазначеного стану засновані на отриманих даних про безпеку і, як правило, знаходяться поза межами кола осіб, які мали можливість останніми вплинути на небезпечну ситуацію і запобігти події, тобто експлуатаційного персоналу, і враховують вплив розробників і керівників, а також структуру (архітектуру) систем [1, 3].

Враховуючи викладене, ІКАО, фахівці з БП почали все більше уваги приділяти не тільки підвищенню надійності окремого авіаційного оператора (авіадиспетчера (А/Д) пілота) або, скажімо, комплектуванню безпечних малих груп авіаційних операторів (концепція “безпечного екіпажа” [4, 5], наприклад), але і виявленню системних недоліків в розробці і експлуатації АТС, тобто формуванню безпечних організацій, яким обов'язково мають бути властиві такі ознаки [1, 3, 6-10]:

- безпека розглядається як одна з цілей організації і як один з важливих чинників, що сприяють досягненню виробничих цілей;
- наявність розвинених структур регулювання ризику, що забезпечують належний баланс між управлінням виробництвом і регулюванням ризику;

– структура, що розроблена з урахуванням відповідного ступеня складності, стандартизованих процедур і централізованого прийняття рішень (ПР) і сумісна як з цілями організації, так і з характеристиками навколишнього середовища;

– при досягненні цілей безпеки керуються внутрішньою відповідальністю, а не формальним дотриманням регламентуючих положень;

– реакція на недоліки, що можуть бути виявлені в області безпеки, у виді вживання довгострокових заходів відносно прихованих недоліків, а також оперативних заходів місцевого масштабу стосовно активних недоліків.

Викладене має особливу значущість в сучасних умовах розробки і впровадження в країнах СНД нових авіаційно-транспортних і аеронавігаційних систем, структура яких, не має, по-суті, наукового обґрунтування. У той же час очевидно, що якщо структура спроектована довільно, організації можуть давати збої, особливо при роботі в складних умовах і перевантаження.

Дійсно, тільки в Російській Федерації здійснюється постійне вдосконалення аеронавігаційної системи, яке, на теперішній час, спрямоване на реалізацію концепції укрупнення центрів по обслуговуванню руху повітряних судів (ПС) у верхньому повітряному просторі, де відбувається абсолютна більшість польотів. В таких центрах основне навантаження природно покладене на структурні підрозділи, що здійснюють безпосереднє управління повітряним рухом (УПР) – службу руху (СР). Однак, відповідні оптимізаційні моделі орієнтовані, переважним чином, на формування повітряних коридорів і трас та забезпечення організаційно-технічного управління потоками ПС. При цьому авіадиспетчерам (А/Д) відводиться роль ідеальних операторів, які чітко виконують професійні обов'язки. ЛЧ враховується, як правило, шляхом нормування робочого навантаження, спостереженням за дотриманням норм робочого часу та вдосконалення радіотехнічних засобів (РТЗ) УПР. В той же час рекомендації з забезпечення організаційно-структурної діяльності укрупнених центрів обслуговування повітряного руху (ОПР) формуються, головним чином, виходячи з багатого досвіду практичної роботи в СР їх розробників, тому не є досконалими.

### 1. Аналіз досліджень і публікацій

Спираючись на методологію системного аналізу, уявимо СР як систему, під якою згідно [11, 12] будемо розуміти впорядковану певним чином множину елементів (А/Д, керівників польотів (КП) та інших фахівців, які займаються управлінням процесом організації, а також здійсненням безпосередньо-

го УПР), взаємозв'язаних між собою (у відповідності з посадовими інструкціями, облаштованістю робочих місць, особливостями організації повітряного простору, завданнями, що стоять перед підсистемами-філіями і СР в цілому і т.д.) і створюючих деяку цілу єдність, що володіє за визначенням [13, 14] системною властивістю ємерджентності.

Під структурою ж системи розуміється сукупність елементів і зв'язків між ними, визначуваних, виходячи з розподілу функцій і цілей, що поставлені перед системою [11 – 18]. І якщо структура спроектована довільно, система може давати збої, особливо при роботі в умовах перевантаження. На рис. 1 подані приклади структурно-функціональної організації діяльності установ чи спільної роботи окремих працівників [11, 15, 16, 18 – 21].

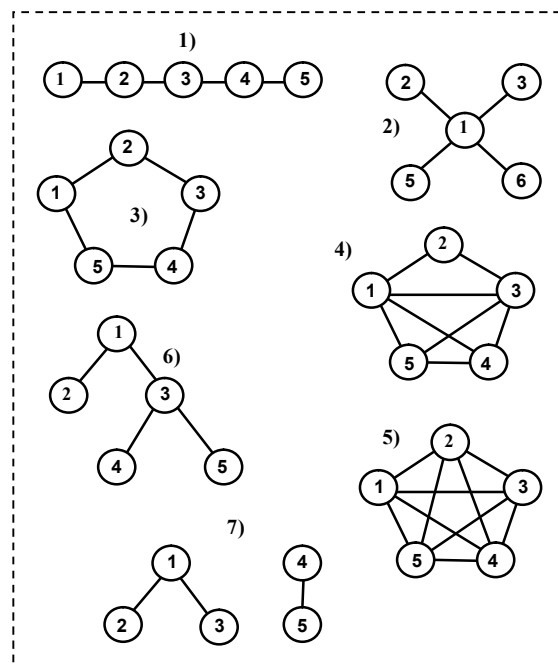


Рис. 1. Приклади типової структурно-функціональної організації:

- 1) – «ланцюжок»; 2) – «зірка»; 3) – «коло»;
- 4) – «мережа неповна»; 5) – «мережа повна»
- 6) – «дерево»; 7) – «незв'язана»

Практично наведене ілюструє також організаційна структура СР Красноярського центра ОПР, що запозичена нами з Internet і подана на рис. 2. При цьому звернемо увагу, що ця система є ієрархічною (організація за принципом «дерево»), тобто такою, якій властиві специфічні особливості [15, 22, 23]:

– послідовне вертикальне розташування підсистем, що утворюють цю систему, або, точніше, вертикальна сопідлеглість;

– пріоритет дій або право втручання підсистем верхнього рівня в дію підсистем нижнього рівня;

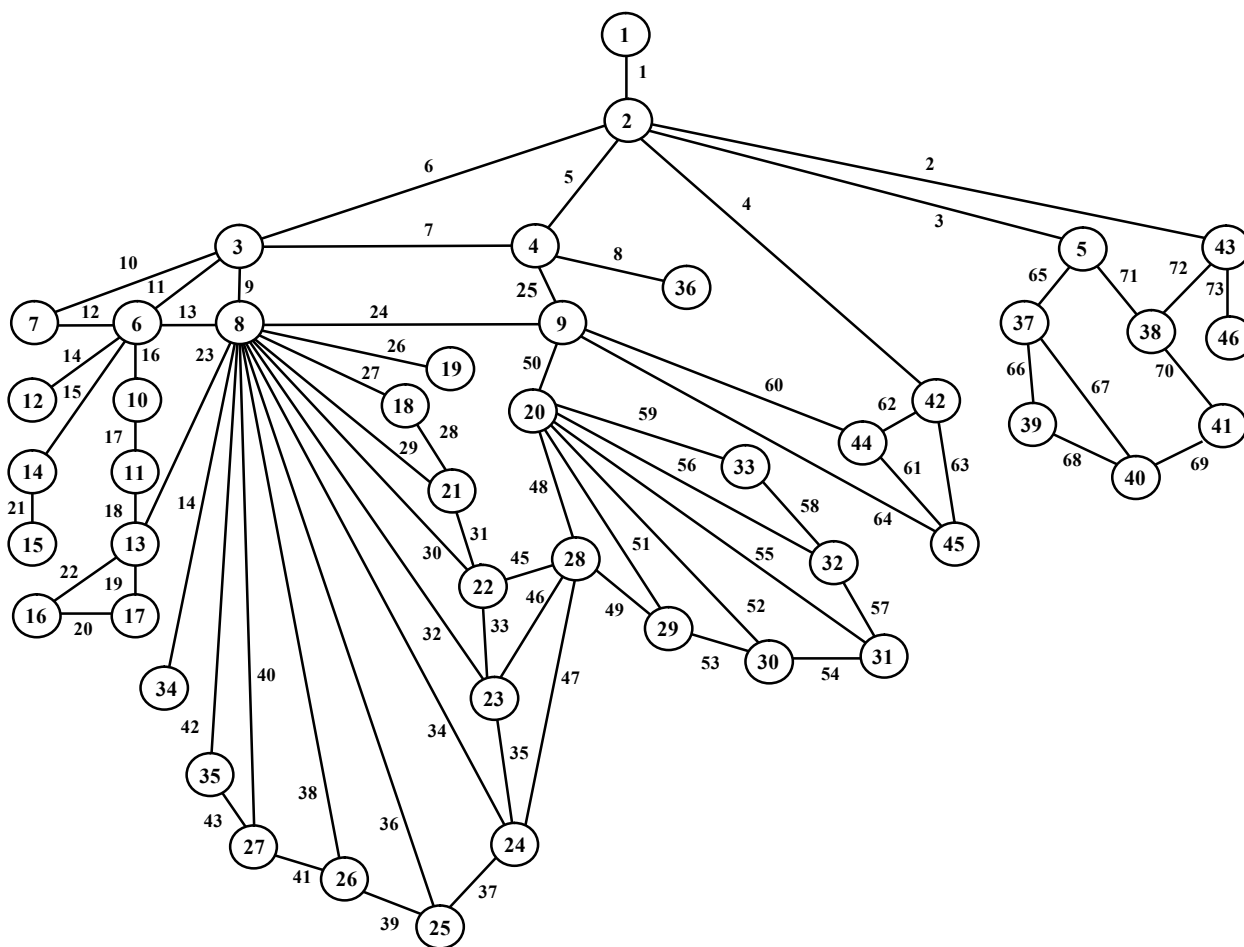


Рис. 2. Подання структурної схеми функціональної організації Красноярського центра обслуговування повітряного руху у виді графа:

1 – начальник центру обслуговування повітряного руху; 2 – начальник служби руху; 3 – начальник районного центру; 4 – начальник аеродромного диспетчерського центру; 5 – начальник центру підтримки кваліфікації; 6 – заступник начальника районного центру по плануванню повітряного руху; 7 – фахівець з аеронавігаційної інформації; 8 – керівник польотів районного центру; 9 – керівник польотів аеродромного диспетчерського центру; 10 – інженер-програміст; 11 – провідний фахівець; 12 – штурман; 13 – старший фахівець; 14 – старший фахівець бази даних; 15 – фахівець бази даних; 16 – фахівець з планування польотів поза повітряними трасами; 17 – фахівець з планування польотів по повітряних трасах; 18 – старший диспетчер районного центру; 19 – диспетчер-інструктор районного центру; 20 – старший диспетчер аеродромного диспетчерського центру; 21 – 27 – сектори районного центру; 28 – диспетчерський пункт підходу; 29 – диспетчерський пункт круга; 30 – допоміжний стартовий диспетчерський пункт; 31 – стартовий диспетчерський пункт; 32 – пункт диспетчера старту, рулювання; 33 – диспетчерський пункт рулювання; 34 – командний диспетчерський пункт місцевих повітряних ліній; 35 – місцевий диспетчерський пункт; 36 – диспетчер-інструктор аеродромного диспетчерського центру; 37 – старший диспетчер-інструктор тренажера; 38 – провідний фахівець англійської мови; 39 – диспетчер-інструктор тренажера, який здійснює управління повітряним рухом; 40 – диспетчер-інструктор тренажера не здійснює управління повітряним рухом; 41 – фахівець англійської мови; 42 – фахівець групи взаємодії і планування повітряного руху; 43 – диспетчер-інспектор по безпеці польотів; 44 – фахівець аеропорту «Черемшанка»; 45 – фахівець аеропорту «Емельяново»; 46 – технік по аналізу засобів об'єктивного контролю

– залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання підсистемами нижніх рівнів своїх функцій.

Аналізуючи рис. 2, можна також зазначити, що окремим підсистемам СР Красноярського центра ОНР властива також функціональна організація за принципом «зірка», «мережа», «ланцюжок».

Відомо декілька компонентів, які мають враховуватися людиною, яка ПР (ЛПР) при формуванні структури організації. У їх числі є такий компонент як *складність*, що включає визначення необхідного числа рівнів управління, необхідний розподіл праці і спеціалізацію по видах робіт (підрозділи, відділи), ступінь розподілу або централізації експлуатаційно-

го персоналу, ступінь інформатизації, що полегшують зв'язок між рівнями.

Проблеми, що сформульовані, звичайно вирішуються для аналізу ефективності структурної організації гуманістичних систем (у визначенні Л. Заде [24]), до яких відносяться і людино-машинні системи (ЛМС), методами організаційної ергономіки та теорії графів [15, 16, 19 – 21, 25 – 32]. Однак, як показує аналіз наукових джерел, стосовно діяльності АТС відповідні дослідження проводяться переважним чином під керівництвом проф. О.М. Реви [33 – 35 та ін.], що створює певні хібні ланки у безперервному ланцюгу заходів з забезпечення БП.

## 2. Постановка завдання досліджень

Таким чином, з вищевикладеного витікає нагальна необхідність подальшої адаптації і розвитку сучасних методів організаційної ергономіки і теорії графів для потреб ретроактивного і проактивного аналізу і оптимізації структурної ефективності аеронавігаційних систем як таких, що вже експлуатуються, так і таких, структура яких тільки-тільки розробляються. В цьому й полягає мета статті.

## 3. Оцінка структурно-функціональної ефективності служби руху Красноярського центра обслуговування повітряного руху

Основною позитивною рисою дослідження офіційних структур є потреба у мінімальному об'ємі апріорної інформації про неї у вигляді наявності зв'язків між елементами, що утворюють структуру. Тому скористаємось організаційною структурою служби руху Красноярського центра ОНР, що подана на рис. 2, де кружками, що є вузлами графа, позначені структурні підрозділи чи окремі члени цієї організаційної структури, а лініями – зв'язки між ними. При цьому вважаємо, що всі лінії, що об'єднують два вузли, однакові і пов'язані одиницею відстані.

Як можна побачити з рис. 2, досліджувана структура-граф має  $n = 46$  вершин і  $m = 73$  ребра.

Для аналізу ефективності структури розрахуємо ряд показників, що характеризують граф. Для цього необхідно побудувати матрицю інцидентів (сумісності)  $A = \|a_{ij}\|$  вершин графа (табл. 1), елементи якої визначаються таким чином [11, 15, 16, 19 – 21]:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо з вершини } i \text{ можна} \\ & \text{перейти до вершини } j; \\ 0 & \text{– в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (1)$$

1. Визначимо **зв'язність графа**. Граф вважається *зв'язаним*, якщо для будь-яких вершин  $i$  та  $j$  існує ланцюг, що їх зв'язує. Показник зв'язаності всіх елементів має відповідати виконанню такої умови:

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \geq (n-1), \quad i \neq j. \quad (2)$$

Кількісна характеристика графа, що обчислюється згідно виразу (2), дозволяє виявити наявність обривів в структурі, висячі вершини і т.д.

У відповідності з даними графа 48 табл. 1 і формулою (2) маємо:

$$\frac{1}{2} 146 = 73 > (46-1) = 45,$$

тобто досліджуваний граф є зв'язаним.

2. **Структурна надмірність R** або **живучість системи** відображає перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально-необхідною, тобто таку кількість її станів, при яких група (організація, структура) зберігає працездатність [11, 15, 16, 19-21, 36]:

$$R = \frac{1}{2(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \right] - 1. \quad (3)$$

Величина показника структурної надмірності має таку інтерпретацію:

$$R = \begin{cases} R > 0 & \text{– система має максимальну} \\ & \text{надмірність;} \\ R = 0 & \text{– система має мінімальну} \\ & \text{надмірність;} \\ R < 0 & \text{– система незв'язана.} \end{cases} \quad (4)$$

При цьому вкажемо, що у випадку суворої підлеглості  $R = 0$ , тобто з втратою хоч би одного зв'язку структура стає непрацездатною і СР як організаційної структури, що працює на спільний кінцевий ефект, як такої, вже не буде. Це є неприпустимим з точки зору забезпечення безпеки функціонування системи, особливо у збійних ситуаціях.

Згідно даних табл. 1 отримуємо, що

$$R = \frac{1}{2(46-1)} 146 - 1 = 0,61 > 0.$$

Спираючись на умову (4), робимо висновок, що граф, який поданий на рис. 2, має максимальну структурну надмірність.

Виходячи з отриманих результатів і враховуючи другу властивостей ієрархічних систем, що були перелічені вище, було прийнято, що керівний склад СР має можливість виходу не тільки на безпосередньо підлеглі рівні, але і на наступні.

Глибина втручання підсистем верхнього рівня в діяльність підсистем нижнього встановлена, враховуючи поради праць [11, 15], дорівнює трьом залежно від особливостей структури філій, проте це

не знайшло свого віддзеркалення на рис. 2 із-за його очевидного у такому разі графічного перевантаження. При цьому слід орієнтуватися на психофізіологічні можливості людини, тобто об'єм її оперативної пам'яті [31, 37 – 40], що буде докладно розглянуто далі. Йдеться про те, що, аналізуючи кількість офіційних зв'язків, що планується кожному співробітникові при розробці структури будь-якої організації чи її підрозділу, слід обов'язково враховувати так зване «магічне» число Міллера (7±2) [31, 37, 38], яке визначає об'єм оперативної пам'яті людини і, тим са-

мим, її психофізіологічну спроможність розрізняти і запам'ятовувати певну кількість об'єктів керування. При цьому в психологічній теорії розпізнавання образів визначено, що досвідчений фахівець може ефективно розпізнавати та запам'ятовувати до 11 об'єктів керування [39]. «Число (коефіцієнт) неефективності», що був запропонований С.Н. Паркінсона (m = 19,9-22,4) встановлює максимально доцільну кількість групи для ефективного керування нею [40].

Таблиця 1

Матриця інцидентій вершин графа організаційної структури Красноярського центра обслуговування повітряного руху (фрагмент)

i	Вершина j																	Σ <sub>j</sub> a <sub>ij</sub>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	45	46	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	46	47	48
1	0	1	0	0	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	...	0	0	6
3	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	...	0	0	5
4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	...	0	0	4
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	3
6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	...	0	0	6
7	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
8	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	...	0	0	15
9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	...	1	0	5
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0	0	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	...	0	0	2
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	...	0	0	4
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮
45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	...	0	0	3
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
$\sum_i \sum_j a_{ij}$																	146	

Зазначимо також, що усі наші подальші міркування будуть для наочності орієнтуватися виключно на графічне подання на рис. 2 структури СР, що досліджується.

**3. Момент групи** характеризує керованість нею з боку лідера (керівника) або головного вузла і обчислюється за формулою [21, 36]:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}{a_{lid.} (n-1)} \sum_{i=1}^n (a_{lid.} - a_i), \quad (6)$$

де a<sub>lid.</sub> – кількість зв'язків керівника.

В нашому випадку (рис. 2) формальним лідером в контексті застосування методології організаційної ергономіки і теорії графів є начальник СР, умовно позначений на рис. 2 як вузол за № 2, тобто (табл. 1):

$$a_{lid.} = a_2 = \sum_j a_{2j} = 6.$$

Тоді згідно з даними графа 48 табл. 1 маємо:

$$M_2 = \frac{146}{6^2 (46-1)} [7(6-1) + 11(6-2) + 16(6-3) + 5(6-4) + 3(6-5) + 2(6-6) + (6-7) + (6-15)] = 10,27.$$

Дослідженнями встановлено, що при інших рівних умовах будь-яка структура буде тим ефективніше, чим більші значення показників R і M.

Як можна побачити з рис. 2 та графа 48 табл. 1, заступник начальника районного центру по плануванню повітряного руху, умовно позначений як вузол №6 має таку ж саме кількість зв'язків, як і формальний лідер – керівник СР. Тому в керуванні офіційною структурою згідно формули (6) йому притаманний той самий момент групи:

$$M_2 = M_6 = 10,27.$$

При цьому, як витікає з подальшого аналізу офіційної структури, старший диспетчер аеродромного диспетчерського центра (вузол №20) має формально більше зв'язків, ніж зазначені особи, а саме

сім, тому і в півтори рази більший момент групи:

$$M_{20}=15,86.$$

Особливо слід вказати на неформального лідера по зв'язках усередині офіційної структури, а саме КП районного центра, який відповідає за технологічні зв'язки з п'ятнадцятьма співробітниками досліджуваної структури СР, а потому і майже у п'ять разів більший показник моменту групи ( $M_8=50,92$ ), ніж офіційний лідер.

Таким чином, проактивна оцінка показує, що реальне функціональне навантаження на КП районного центра, що планується згідно офіційної структури СР (рис. 2), на 36% перевищує відповідний норматив для досвідченого фахівця і певним чином наближений до «коефіцієнта неефективності». Наведене, враховуючи вплив ЛЧ на БП [41]. вимагає вживання заходів з забезпечення його професійної діяльності засобами штучного інтелекту, скажімо, системою підтримки ПР (СППР).

**4. Рівномірний розподіл зв'язків в структурі графа.** Природно, що система з більшою надмірністю  $R$  потенційно безпечніша, але в деяких завданнях аналізу структурної надійності її доцільно доповнити параметрами, що враховують нерівномірність розподілу зв'язків  $\varepsilon^2$ . [15, 20]. Цей показник  $\varepsilon^2$  характеризує недовикористання можливостей структури, що має  $m$  ребер і  $n$  вершин, в досягненні максимальної зв'язаності.

При визначенні рівномірності розподілу зв'язків орієнтуються на середній ступень вершини  $\bar{\rho} = 2m / n$ . Тоді, ввівши поняття відхилення

$$\varepsilon_i = \rho_i - \bar{\rho},$$

де  $\rho_i$  – дійсний ступень відхилення  $i$ -тої вершини конкретного графа, можна визначити квадратичне відхилення ступенів вершини від рівномірного:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2 = \sum_{i=1}^n \rho_i^2 - 4 \frac{m^2}{n}. \quad (7)$$

Для обчислення  $\varepsilon^2$  необхідно визначити  $\rho_i$ . При цьому, під ступенем вершини графа розуміється кількість ребер, інцидентних до неї [11]:

$$\rho_i = \sum_j \rho_{ij}, \quad (8)$$

де  $\rho_{ij}$  – інцидентність (зв'язок), що визначається з такої умови:

$$\rho_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо вершина } i \text{ має зв'язок} \\ & \text{з ребром } j; \\ 0, & \text{якщо зв'язку немає.} \end{cases} \quad (9)$$

Відповідно до рис. 2 та виразів (8), (9) отримуємо матрицю інцидентій, що подана в табл. 2. Проводячи відповідні обчислення згідно формул (7) – (9), отримуємо таке значення показника розподілу зв'язків в структурі:  $\varepsilon^2 = 232,6$ .

У роботі [20] показник  $\varepsilon^2$  нормується, що дозволяє порівнювати різноманітні структури автоматизованих систем управління (АСУ).

**5. Структурна компактність D.** Для її кількісної оцінки вводиться параметр, що відображає близькість вершин графа. Близькість двох вершин  $i$  і  $j$  має сенс відстані і визначається мінімальною довжиною ланцюга  $d_{ij}$  з найменшим числом ланок (ребер), якими можна пройти з одного вузла в інший (табл. 3). Тоді показник

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij}, \quad i \neq j \quad (10)$$

відображає загальну структурну близькість елементів в системі.

В нашому випадку (табл. 3) структурна компактність характеризується величиною  $D=7432$ .

Для кількісної оцінки структурної компактності часто використовують такий відносний показник

$$D_{\text{відн.}} = \frac{D}{D_{\text{min}}} - 1, \quad (11)$$

де  $D_{\text{min}}=n(n-1)$  – мінімальне значення компактності структури.

У відповідності з структурою Красноярського центра ОПР, що досліджується, маємо:

$$D_{\text{відн.}} = \frac{7432}{46(46-1)} - 1 = 2,59.$$

Структурну компактність характеризує також і інший показник – **діаметр структури:**

$$d = \max_{ij} d_{ij}. \quad (12)$$

Для СР с організаційною структурою, що подана на рис. 2, у відповідності з даними табл. 3 маємо, що  $d = 7$ .

Враховуючи переважаючий інформаційний характер зв'язків в СР, можна з упевненістю сказати, що  $D_{\text{відн.}}$  і  $d$  інтегрально оцінюють інерційність інформаційних процесів в системі, а при рівних значеннях  $\varepsilon^2$  і  $R$  їх збільшення відображає зростання кількості роз'єднуючих зв'язків. При цьому слід зазначити, що така ситуація сприяє зниженню загальної надійності системи [15].

**6. Ступінь централізації в структурі.** Для її кількісної оцінки використовується поняття індексу центральності [15, 20]:

$$\delta = (n-1)(2z_{\text{max}} - n) \frac{1}{z_{\text{max}}(n-2)}, \quad (13)$$

де  $z_{\text{max}}$  – максимальне значення показника:

$$z_i = \frac{D}{2} \left( \sum_{j=1}^n d_{ij} \right)^{-1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad i \neq j. \quad (14)$$

У відповідності з (14) і даними табл. 3 отримуємо такі результати обчислень:

Таблица 2

Матрица инциденцій вершин і ребер графа організаційної структури Красноярського центра обслуговування повітряного руху (фрагмент)

Вершина i	Ребро j															$\sum_j \rho_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	72	73	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	73	74	75
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	...	0	0	6
3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	...	0	0	5
4	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	...	0	0	4
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	...	0	0	6
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	...	0	0	2
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0	0	15
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	4
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	3
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1

Таблица 3

Матрица відстаней між вершинами графа організаційної структури Красноярського центра обслуговування повітряного руху (фрагмент)

Вершина i	Вершина j																	$\sum_j d_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	45	46	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	46	47	48
1	0	1	2	2	2	3	3	3	3	4	5	4	4	4	...	3	2	166
2	1	0	1	1	1	2	2	2	2	3	4	3	3	3	...	2	1	122
3	2	1	0	2	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	...	4	3	114
4	2	1	1	0	2	2	2	2	1	3	4	3	3	3	...	3	3	126
5	2	1	2	2	0	3	3	3	3	4	5	4	4	4	...	3	3	157
6	1	2	1	2	3	0	1	1	2	1	2	1	3	1	...	3	4	119
7	3	2	1	2	3	1	0	2	3	2	3	2	3	2	...	4	5	151
8	3	2	1	2	3	1	2	0	1	2	3	2	1	2	...	3	4	103
9	3	2	2	1	3	2	3	1	0	3	4	3	2	3	...	1	4	113
10	4	2	2	3	4	1	2	2	3	0	1	2	2	2	...	4	5	156
11	5	4	3	4	5	2	3	3	4	1	0	3	1	3	...	4	6	179
12	4	3	2	3	4	1	2	2	3	2	3	0	3	2	...	5	5	165
13	4	3	2	3	4	2	3	1	2	2	1	3	0	3	...	3	5	138
14	4	3	2	3	4	1	2	2	3	2	3	2	3	0	...	4	5	162
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮
45	3	2	3	2	3	3	4	2	1	4	5	4	3	4	...	0	4	144
46	3	2	3	3	3	4	4	4	4	5	6	5	5	5	...	4	0	204
$\sum_i \sum_j d_{ij}$																	7432	

$$z_1 = \frac{7432}{2} (166)^{-1} = 22,38 ;$$

$$z_2 = \frac{7432}{2} (122)^{-1} = 30,45 ;$$

.....

$$z_8 = \frac{7432}{2} (103)^{-1} = 36,07 ;$$

.....

$$z_{15} = z_{46} = \frac{7432}{2} (204)^{-1} = 18,21 ;$$

$$z_{16} = z_{17} = \frac{7432}{2} (181)^{-1} = 20,53 ;$$

$$z_{18} = \frac{7432}{2} (145)^{-1} = 25,62 ;$$

$$z_{19} = z_{20} = z_{34} = \frac{7432}{2}(146)^{-1} = 25,45;$$

$$z_{22} = z_{23} = z_{24} = \frac{7432}{2}(135)^{-1} = 27,52;$$

$$z_{25} = z_{44} = z_{45} = \frac{7432}{2}(144)^{-1} = 25,8;$$

$$z_{26} = z_{27} = \frac{7432}{2}(150)^{-1} = 24,77;$$

$$z_{28} = \frac{7432}{2}(161)^{-1} = 23,08;$$

$$z_{29} = z_{30} = z_{31} = z_{32} = \frac{7432}{2}(187)^{-1} = 19,87;$$

$$z_{33} = \frac{7432}{2}(188)^{-1} = 19,76;$$

$$z_{43} = \frac{7432}{2}(160)^{-1} = 23,22.$$

З наведених результатів обчислень витікає:

$$z_{max} = z_8 = 36,07.$$

У відповідності з (13) визначимо індекс центральності:

$$\delta = \frac{(46-1)(2 \cdot 36,07 - 46)}{37,07(46-2)} = 0,74.$$

7. Кожен *i*-й вузол графа характеризується показниками центральності [16]:

$$C_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{\sum_j d_{ij}}. \tag{15}$$

Показник центральності  $C_i$  володіє тим недоліком, що додавання нових вузлів до графа, не міняючи позиції вузла з максимальною центральністю, змінює в той же час числове значення центральності цього вузла. Щоб уникнути цього, вводиться поняття відносної периферійності вузла:

$$P_i = C_{max} - C_i \tag{16}$$

і повної периферійності графа:

$$P = \sum_i P_i. \tag{17}$$

Уявляється можливим пронормувати периферійність вузлів *i* графа в цілому, розділивши (16) на  $C_{max}$ , а (17) – ще і на *n*. Тоді отримуємо:

$$P_i^o = \frac{C_{max} - C_i}{C_{max}} = 1 - \frac{C_i}{C_{max}}; \tag{18}$$

$$P^o = \frac{1}{n} \sum_i P_i^o = \frac{1}{n} \sum_i \left(1 - \frac{C_i}{C_{max}}\right) = 1 - \frac{1}{nC_{max}} \sum_i C_i. \tag{19}$$

Всі розраховані значення показників структурної периферійності подані в табл. 4.

Таким чином, результати проведених досліджень

показують високу ефективність методів теорії графів в оцінці структурної організації СР. При цьому зазначимо, що при розробці нових структур слід обов'язково враховувати можливості процесів управління, а також особливостей групової діяльності. При цьому необхідно прагнути до зменшення показника периферійності і числа ребер графа. Проте, необхідно також враховувати психологічні можливості операторів по прийому і переробці інформації, оскільки прагнення до спрощення функціональної структури групи може привести до неприпустимого інформаційного перевантаження людини-оператора (Л-О).

Таблиця 4

Показники структурної периферійності вузлів графа організаційної структури Красноярського центра обслуговування повітряного руху (фрагмент)

Вершина <i>i</i>	$C_i$	$P_i$	$P_i^o$	Вершина <i>i</i>	$C_i$	$P_i$	$P_i^o$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	44,77	27,38	0,38	24	55,05	17,10	0,24
2	60,92	11,24	0,16	25	51,61	20,54	0,28
3	65,19	6,96	0,10	26	49,55	22,61	0,31
4	58,98	13,17	0,18	27	49,55	22,61	0,31
5	47,34	24,82	0,34	28	46,17	25,99	0,36
6	62,45	9,70	0,13	29	39,74	32,41	0,45
7	49,22	22,94	0,32	30	39,74	32,41	0,45
8	72,16	4,17	5,79	31	39,74	32,41	0,45
9	65,77	6,39	0,09	32	39,74	32,41	0,45
10	47,64	24,51	0,34	33	39,53	32,62	0,45
11	41,52	30,64	0,42	34	50,90	21,25	0,29
12	45,04	27,11	0,38	35	51,26	20,90	0,29
13	53,86	18,30	0,25	36	44,24	27,92	0,39
14	45,88	26,28	0,36	37	38,11	34,04	0,47
15	36,43	35,72	0,50	38	38,31	33,85	0,47
16	41,06	31,09	0,43	39	31,24	40,93	0,57
17	41,06	31,09	0,43	40	31,49	40,66	0,56
18	51,23	20,90	0,29	41	31,90	40,26	0,56
19	50,90	21,25	0,29	42	45,60	26,56	0,37
20	50,90	21,25	0,29	43	46,45	25,71	0,36
21	52,34	19,82	0,27	44	51,61	20,54	0,28
22	55,05	17,10	0,24	45	51,61	20,54	0,28
23	55,05	17,10	0,24	46	36,43	35,72	0,50

Структурні характеристики і показники, що були розглянуті, отримані тільки на основі інформації про склад елементів СР і їх зв'язки. Подальший розвиток методології структурних параметрів для вирішення завдань структурного аналізу припускає врахування неструктурної інформації шляхом введення кількісних функцій на графах. Такий підхід, безумовно, перспективний, оскільки дозволяє разом зі складом елементів і їх зв'язками врахувати і визначити часові, надійнісні, вартісні та інші показники взаємодії.



## Висновки

1. Знайшли подальшу адаптацію і розвиток методи організаційної ергономіки і теорії графів для потреб аналізу і оцінки функціональної ефективності офіційної структури Красноярського центра ОПР, яка подана у виді моделі-графа. Встановлено, що вона є ієрархичною з використанням типології «зірка», «мережа» (неповна) і «ланцюжок». Зазначена модель сумісна з цілями організації і характеристиками навколишнього середовища і відображає існуючу взаємодію її складових елементів з урахуванням відповідного ступеня складності, стандартизованих процедур і централізованого ПР.

2. Обчислені коефіцієнти і показники зв'язності, структурної надмірності, моменту групи, рівномірності розподілу зв'язків, структурної компактності, діаметра структури, ступеня централізації, периферійності вузлів та графа у цілому тощо. Зокрема встановлено, що система є зв'язаною, тобто не має жодного елемента чи підсистеми, які б були функціонально відокремлені від інших; має максимальну структурну надмірність, тому втрата якогось зв'язку не призведе до організаційного дисбалансу в керуванні нею; має діаметр, що дорівнює сьому крокам-ребрам між максимально віддаленими елементами, який може бути скороченим за рахунок надання права підсистемам верхнього рівня втручатися в діяльність підсистем нижнього на глибину до трьох рівнів.

3. Обчислені значення показника моменту групи дозволили виявити осіб з явним структурно-функціональним перевантаженням, яке знаходиться на межі і навіть виходить за границі психофізіологічних можливостей Л-О. Запропоновано облаштувати їх робочі місця засобами штучного інтелекту, зокрема СППР.

4. Методи організаційної ергономіки і теорії графів є незвичайно корисними як для ретроспективного аналізу функціональної досконалості діючих структур управління, так і для проактивного дослідження організаційних структур, що розробляються.

5. Подальші дослідження з застосування методів організаційної ергономіки і теорії графів слід проводити у напрямках визначення функцій на графах та моделювання структурної ефективності методами інформаційних ланцюгів проф. А.О. Денисова.

## Література

1. Человеческий фактор в управлении и организации [Текст]: сб. материалов №10 – Циркуляр ИКАО 247-AN/148, Монреаль, Канада, 1993. – 47 с.
2. Рева, О.М. Влияние на безопасность полетов особ-

ливостей взаимодействия элементов эргатической системы “экипаж (пилот) – воздушное судно – орган управления воздушным движением” [Текст] / О.М. Рева, А.А. Бекмухамбетов, Г.М. Селезнев // Научные труды академии. – Кировоград: ДЛАУ, 2002. – Вып. VI, Ч. I. – С. 147-155.

3. Hendrick, Hal. Ergonomics in organization and management [Text] / Hal. Hendrick // Ergonomics. – 1991. – Vol. 34, № 6. – P.743–756.

4. Руководство по медицине [Текст]: Док. ICAO 8984 – AN/895. – Монреаль, Канада, 1985. – 435 с.

5. Рева, А.Н. Концепция безопасного экипажа и оценка надежности взаимозаменяемости его членов [Текст] / А.Н. Рева, К.М. Тумьшев // Безопасность полетов и профилактика авиационных происшествий: тез. докл. V Всесоюз. НПК по безопасности полетов. – Секция I: Комплексное исследование проблем безопасности полетов и профилактика авиационных происшествий. – Ленинград, 1 – 3 нояб. 1988 г. – Л.: АГА, 1988. – С. 40.

6. Руководство по предотвращению авиационных происшествий [Текст]: Док. ИКАО 9422 – AN / 923. – Монреаль, Канада, 1984. – 144 с.

7. Safety culture: Its importance in future risk management [Text] / B. Turner, N. Pidgeon, D. Blockley, B. Toft // The Second World Bank Workshop on Safety Control and Risk Management, 1989: Karisted, Sweden.

8. Wood, R.H. Aviation Safety Programs [Text] / Richard H. Wood // A Management Handbook. IAP incorporated, Casper, Wyoming, USA, 1991.

9. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением [Текст]: Циркуляр ИКАО 314-AN/178. – Монреаль, Канада, 2008.

10. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) [Текст]. – Изд-е второе. – Док. ICAO AN/474. – Монреаль, Канада, 2009.

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

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

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

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

15. Денисов, А.А. Теория больших систем управления [Текст]: учеб. пособ. / А.А. Денисов, Д.Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 238с.

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

17. Клар, Дж. Системология: Автоматизация решения системных задач [Текст]: пер. с англ. / Дж. Клар; под ред. А.И. Горлина. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.

18. Рева, О.М. Колективні рішення у невеликій групі авіаційних операторів [Текст]: конспект лекцій з курсу “Основи теорії прийняття рішень” / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 33 с.

19. 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.

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

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

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

23. Цвиркун, А.Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития [Текст] / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев. – М.: Наука, 1993. – 160 с.

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

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

26. Человеческий фактор. В 6 т., Т.6. Эргономика в автоматизированных системах [Текст]: пер. с англ. / М. Вайсер, Б. Шнейдерман, Р. Уиллидж и др. – М.: Мир, 1992. – 522 с.

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

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

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

30. Занковский, А.Н. Организационная психология [Текст]: учебное пособие для вузов по специ-

альности «Организационная психология» / А.Н. Занковский. – М.: Флинта:МПСИ, 2006. – 648 с.

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

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

33. Оцінка ефективності функціональної організації диспетчерської зміни методами теорії графів [Текст] / О.М. Рева, Б.Ф. Сагун, С.Д. Кульназаров, Ю.В. Юрченко, Н.В. Борота // Наукові праці академії. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – Вип. III. – Ч.II. Моделювання та управління в авіонавігаційних системах. – С. 30-35.

34. Рева, О.М. Показатели структурной эффективности организации диспетчерской смены как малой группы авиационных операторов [Текст] / О.М. Рева, С.Д. Кульназаров // Перспективы развития гражданской авиации и подготовка высококвалифицированных кадров: сб. тр. 1-й междунац. конф. – Алматы, 18-22 сентября 2000 г. – Алматы: КазГУ, 2000. – Ч. I. – С. 83-92.

35. Оцінка ефективності структурної організації екіпажів повітряних суден як невеликих груп операторів [Текст] / О.М. Рева, С.А. Иванов, І.В. Коцарь, Я.В. Лішанков // Наукові праці академії. – Кіровоград: ДЛАУ, 2000. – Вип. V, Ч.I. – С. 240-251.

36. Голант, Ю.А. К вопросу оценки деятельности группы операторов в системе управления [Текст] / Ю.А. Голант // Приборы и системы управления. – 1970. – № 10. – С. 8-10

37. Miller, G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on or capacity for processing information [Text] / G. Miller // Psychological Review. – 1956. – N 63. – P. 81-97

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

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

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

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

Надійшла до редакції 25.05.2012

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

**ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛУЖБЫ ДВИЖЕНИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО ЦЕНТРА ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ)**

*А.Н. Рева, В.И. Вдовиченко, И.М. Устименко*

Ориентируясь на признаки так называемой безопасной организации, сформулированные ИКАО как обобщение опыта эффективного и безопасного функционирования ведущих авиакомпаний мира, и учитывая влияние человеческого фактора на эффективность этого функционирования, адаптирован математический аппарат теории графов для проактивного исследования совершенства официальных авиационных структур путем определения коэффициентов и показателей связности, структурной избыточности, момента группы, равномерности распределения связей, структурной компактности, диаметра структуры, степени централизации, периферийности узлов и графа в целом и тому подобное. Практическое применение отмеченных методов проиллюстрировано на исследовании официальной структуры функциональной организации службы движения Красноярского центра обслуживания воздушного движения. Построена формальная модель-граф, совместимая с целями организации и характеристиками окружающей среды и отображающая существующее взаимодействие ее составных элементов с учетом соответствующей степени сложности, стандартизированных процедур, централизованного принятия решений.

**Ключевые слова:** структурная безопасность авиационных систем, методы теории графов и структурного анализа, служба движения, показатели эффективности структурной организации.

**ASSESSMENT OF STRUCTURAL EFFICIENCY OF THE AIR TRAFFIC DEPARTMENT  
(ON THE EXAMPLE OF THE KRASNOYARSK CENTER OF AIR TRAFFIC SERVICE)**

*A.N. Reva, V.I. Vdovichenko, I.M. Ustimenko*

Mathematical apparatus of the theory of graphs for pro-active research of official aviation structures perfection by a method of coefficients' determination and connectivity of factors, structural redundancy, the moment of group, uniformity of connection distribution, structural compactness, diameter of structure, extent of centralization, a peripheral of constructions and graphs have been adapted. This has been done being guided by the criteria of the so-called safe organization formulated by ICAO as synthesis of experience of effective and safe functioning of the world leading airlines, and considering influence of a human factor on efficiency of this functioning. Practical application of methods mentioned above is illustrated on research of official structure of the functional organization of an Air Traffic department of the Krasnoyarsk center of Air Traffic service. The formal model graph compatible to the purposes of organization and environment characteristics displaying existing interaction of its components is constructed, taking into account the corresponding degree of the complexity, the standardized procedures, the centralized decision-making.

**Key words:** structural safety of aviation systems, methods of the theory of graphs and structural analysis, Air Traffic department, indicators of the structural organization efficiency.

**Рева Олексій Миколайович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету, Кіровоград, Україна, e-mail: ran54@meta.ua.

**Вдовиченко Василь Іванович** – генеральний директор Некомерційної освітньої установи «Корпоративний центр підготовки персоналу – Інститут аеронавігації», Москва, Російська Федерація, e-mail: vdovichen@aeronav.ru.

**Устименко Іван Михайлович** – старший диспетчер-інструктор тренажера відділу професійної підготовки персоналу обслуговування повітряного руху Держкорпорації по організації повітряного руху «Аеронавігація Центрального Сибіру», Красноярськ, Російська Федерація, e-mail: ustimenkoivan@inbox.ru.