

УДК 331.101.1:629.785:007(045)

О.М. Рева, Н.В. Борота

МЕТОДИ ПРИКЛАДНОЇ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ В ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ НЕВЕЛИКОЇ ГРУПИ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

Обґрунтована можливість застосування кібернетичного методу інформаційних ланцюгів для аналізу ефективності структурної організації диспетчерської зміни, з метою дослідження якої складена та розв'язана система лінійних рівнянь десятого ступеня (застосовано ланцюги постійних інформаційних струмів). Доведено, що загальна організаційна схема повинна бути декомпозована на групу довгострокового планування та стратегічного управління, з одного боку, та на групу оперативного планування та управління – з іншого боку. Визначені вимоги до членів груп.

Будь-які системи управління є по суті системами передачі та обробки інформації. Розглянемо метод інформаційних ланцюгів, уперше запропонований з метою аналізу схем управління О.А. Денисовим та розвинений у працях В.А. Горячева та О.М. Реви.

Суть методу така. На основі структурної схеми функціональної взаємодії членів підрозділу (в нашому випадку – це служба руху аеропорту, рис.1) складається електрична схема, напрям струмів у якій відповідає руху інформації під час взаємодії членів малої групи. Схему розраховують з метою визначення її працездатності в цілому.

Під *інформаційним ланцюгом* розуміємо сукупність взаємодіючих джерел, перетворювачів та споживачів інформації.

Стан навколишньої матерії характеризується деякою невизначеністю чи ентропією $H_0 = -\log P_0$, яка відіграє роль інформаційного потенціалу (суті) події, апіорна ймовірність якого P_0 .

Метою будь-якого управління є зміна в той чи інший бік апіорної ймовірності події до нового значення $P_{ум}$, якому відповідає нове значення потенціалу $H_{ум} = -\log P_{ум}$, де $P_{ум}$ – ймовірність події при умові керування нею. Таким чином, суть управління, яке спричиняє джерело інформації, може бути охарактеризоване *інформаційною напругою*

$$\Delta H = H_0 - H_{ум} = \log (P_{ум} / P_0) . \quad (1)$$

В управлінській діяльності джерелом інформації, як правило, є люди, колективи людей або технічні пристрої. Інформація, видана відповідним джерелом, надходить до виконавчих органів і систем, які є інформаційним навантаженням джерела, а потім повертається в джерело у вигляді інформації зворотного зв'язку (рис. 2).

Інформаційна система не може мати ні пам'яті, ні звичок, отже, єдиною її характеристикою у аспекті, що розглядається, є *інформаційний опір* – час її реакції на отриману інформацію (час виконання), який відраховується з моменту виходу керуючої інформації з джерела до моменту отримання джерелом сигналу зворотного зв'язку про досягнення встановленої мети. Так, в гуманістичних системах управління, де розпорядження видають усно безпосередньо або телефонують, інформаційний опір

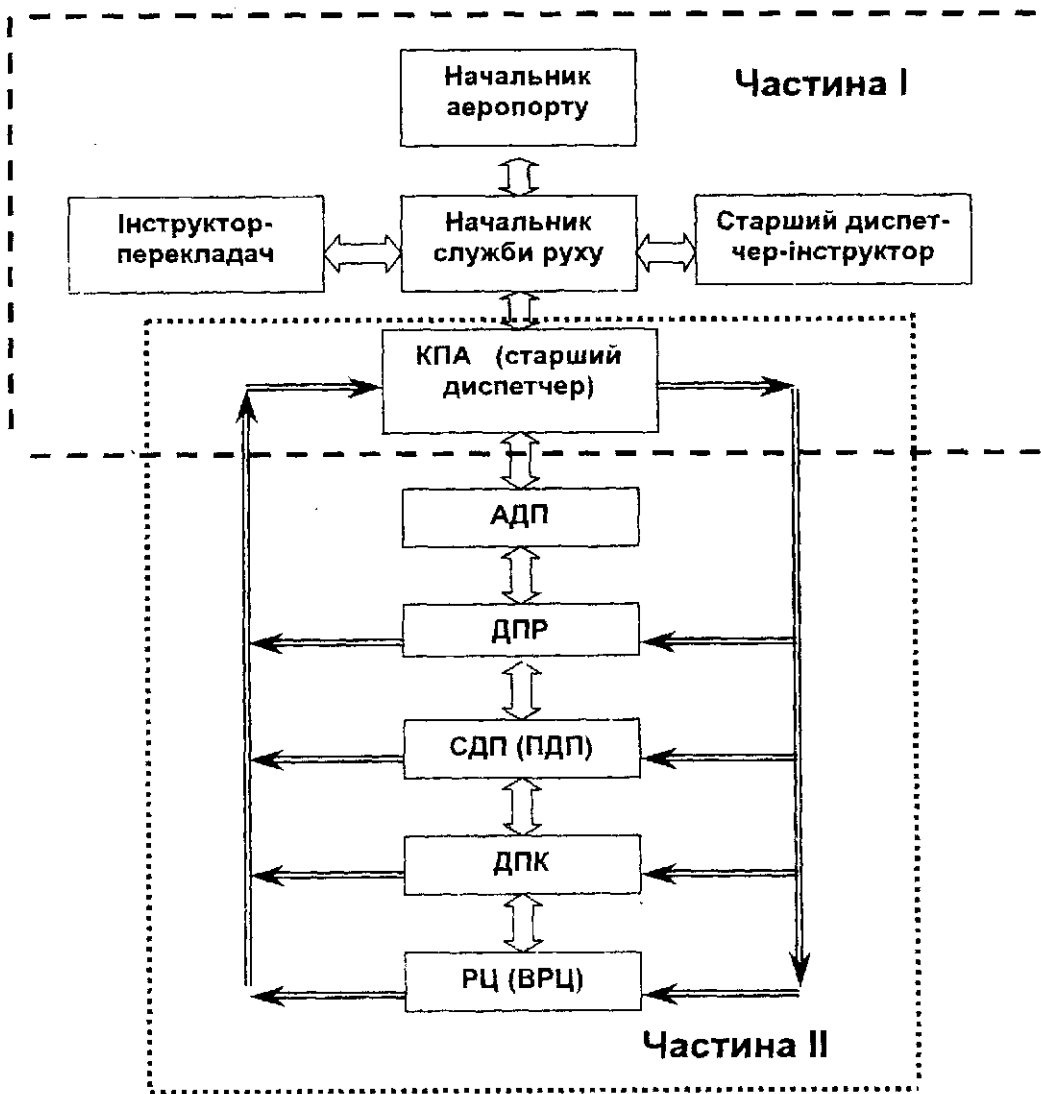


Рис. 1. Структурна схема служби руху аеропорту

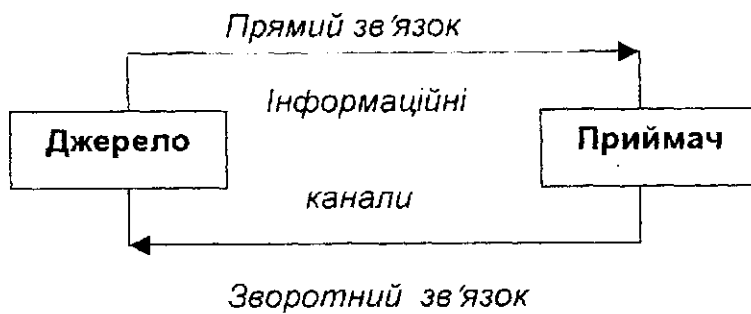


Рис. 2. Структура типового інформаційного ланцюга

системи дорівнює часу виконання від моменту, коли розпорядження було сформульоване, до моменту, коли було отримане повідомлення про виконання. При цьому час, необхідний для прийняття самого рішення та для його відображення, є внутрішнім інформаційним опором джерела інформації, зворотним для його пропускної спроможності I_{\max} . Таким чином, для такої системи має місце інформаційний закон Ома

$$I = \Delta H / \tau_H, \quad (2)$$

де $\tau_H = \tau - \tau_{\text{вТ}}$ – інформаційний опір навантаження; τ , $\tau_{\text{вТ}}$ – інформаційний опір відповідно усього ланцюга і джерела (внутрішній); I – інформаційний струм в ланцюзі навантаження.

Ефективність джерела залежить від того, як швидко воно видає керуючу інформацію при зміні стану навантаження. Запізнення в джерелі обезцінює видану ним керуючу інформацію і виконує функції внутрішнього інформаційного опору джерела.

Напрягу джерела, якою воно володіє при функціонуванні без інформаційного навантаження, будемо називати *інформаційно-рухаючою логікою* (ІРЛ). При наявності навантаження інформаційний струм I створює спад напруги на внутрішньому опорі $\tau_{\text{вТ}}$, який зменшує ІРЛ до робочої напруги на величину $\mathcal{K}_{\text{вТ}}$, так, що

$$\Delta H = h - I \tau_{\text{вТ}}, \quad (3)$$

де h – ІРЛ джерела.

Застосуємо метод інформаційних ланцюгів до типової схеми організації роботи служби руху аеропорту (рис. 1). В загальному вигляді сама схема розраховується за інформаційними законами Кірхгофа. Перш за все треба визначити, яким чином – паралельно чи послідовно – будуть з'єднані елементи схеми.

Внутрішній інформаційний опір людини характеризує тільки швидкість розуміння повідомлення, яке отримується, без залежності від потенційних можливостей індивіда. Інформаційна напруга людини як джерела визначається згідно з сукупним впливом чинників. В результаті часто досить обдаровані люди, але з уповільненою реакцією виявляються безпорадними під час оперативного управління ситуаціями, які швидко змінюються, чим спричиняють порівняно низьку ймовірність досягнення мети управління.

Навпаки, люди, навіть досить обмежені, але з доброю реакцією, володіючи низьким інформаційним опором, здатні при обмежених значеннях інформаційних струмів забезпечити досить успішне оперативне управління. Проте стан змінюється радикальним чином, коли мова йде про стратегічне планування. У цьому випадку є достатньо часу, оскільки інформаційні струми досить малі, а втрати напруги $\mathcal{K}_{\text{вТ}}$ навіть при значних значеннях $\tau_{\text{вТ}}$ є несуттєвими. Таким чином, швидкість розуміння інформації, що отримується, не відіграє суттєвої ролі, а висока ймовірність досягнення мети забезпечується тільки ІРЛ – талантом та досвідом. Ці міркування слід брати до уваги як при розподілі кадрів за східцями управлінської ієрархії, на горі якої приймаються відносно нечасті, але дуже відповідальні рішення, а внизу, навпаки, приймаються не дуже важливі, але у великій кількості і в обмежений час рішення, так і при комбінуванні елементарних джерел інформації.

Послідовне з'єднання елементарних джерел збільшує ІРЛ, паралельне – пропускну спроможність системи.

При більш детальному розгляді та аналізі схеми (рис. 1) чітко вимальовуються різні за задачами та функціями частини. Використовуючи метод декомпозиції, розрахувати їх можна окремо (рис. 3, 4), що значно спрощує задачу.

Частина I (рис. 3) – група довгострокового планування та стратегічного управління. До неї належать: начальник аеропорту, начальник служби руху, інструктор-перекладач,

старший диспетчер-інструктор, керівник польотів. Усі разом вони приймають важливі рішення, але не часто, тому їх доводиться погоджувати з метою збільшення ймовірності в кращій бік. На схемі (рис. 1) відносно кожного навантаження члени підрозділу з'єднані попарно-послідовно. Усі елементи цієї частини з'єднані послідовно з метою збільшення ІРЛ, а саме: ймовірності досягнення мети. При цьому сумарна затримка рішення в джерелі повинна бути значно меншою за інформаційний опір навантаження τ (час реакції виконавчого органу), тобто $\tau \gg \tau_{\text{вт}}$.

Частина II (рис. 4) – група оперативного планування та управління. До неї належать керівник польотів та всі диспетчери. Ця група часто приймає рішення, і схема надає можливість незалежного (паралельного) виходу кожного диспетчера на керівника польотів (на відміну від першої частини), що значно зменшує еквівалентний опір паралельно розташованих диспетчерів, тобто зменшує час, необхідний для прийняття самого рішення.

З'єднуючим ланцюгом частин схем є керівник польотів аеропорту (КПА). Застосуємо до схеми частини перший закон Кірхгофа:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{12} + I_{15}; & I_2 &= I_{12} - I_{23}; \\ I_3 &= I_{23} + I_{34}; & I_4 &= I_{45} - I_{34}; & I_5 &= I_{15} - I_{45}; \\ I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5. \end{aligned}$$

Застосуємо другий закон Кірхгофа до всіх ланцюгів, при цьому ІРЛ джерел збігається з напрямом струмів (рис. 4): $I_3 = I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11}$:

$$\begin{aligned} I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_2 \tau_{\text{вт}} - h + I_{23} \tau_{\text{н}} = I_1 \tau_{\text{вт}} + h + I_{12} \tau_{\text{н}} + I_{23} \tau_{\text{н}} = -I_{34} \tau_{\text{н}} - \\ &- I_{45} \tau_{\text{н}} + I_5 \tau_{\text{вт}} + h = -I_{34} \tau_{\text{н}} + I_4 \tau_{\text{вт}} + h = -I_{34} \tau_{\text{н}} - I_{45} \tau_{\text{н}} - \\ &- I_{15} \tau_{\text{н}} - I_1 \tau_{\text{вт}} - h = -I_{34} \tau_{\text{н}} - I_{45} \tau_{\text{н}} - I_{15} \tau_{\text{н}} - I_{12} \tau_{\text{н}} + I_2 \tau_{\text{вт}} + h. \end{aligned}$$

Отримуємо систему рівнянь. При цьому для спрощення задачі будемо вважати, що

$$\begin{aligned} h_1 &= h_2 = h_3 = h_4 = h_5 = h, & \tau_1 &= \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_{\text{вт}}; \\ \tau_{12} &= \tau_{23} = \tau_{34} = \tau_{45} = \tau_{15} = \tau_{\text{н}}; \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned} I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_2 \tau_{\text{вт}} - h + I_{23} \tau_{\text{н}}; \\ I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= I_1 \tau_{\text{вт}} + h + I_{12} \tau_{\text{н}} + I_{23} \tau_{\text{н}}; \\ I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_{34} \tau_{\text{н}} + I_4 \tau_{\text{вт}} + h; \\ I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_{34} \tau_{\text{н}} - I_{45} \tau_{\text{н}} + I_5 \tau_{\text{вт}} + h; \\ I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_{34} \tau_{\text{н}} - I_{45} \tau_{\text{н}} - I_{15} \tau_{\text{н}} - I_1 \tau_{\text{вт}} - h; \\ I_3 \tau_{\text{вт}} + h &= -I_{34} \tau_{\text{н}} - I_{45} \tau_{\text{н}} - I_{15} \tau_{\text{н}} - I_{12} \tau_{\text{н}} + I_2 \tau_{\text{вт}} + h; \\ I_1 &= I_{12} + I_{15}; \\ I_2 &= I_{12} - I_{23}; \\ I_3 &= I_{23} + I_{34}; \\ I_4 &= I_{45} - I_{34}; \\ I_5 &= I_{15} - I_{45}. \end{aligned} \right.$$

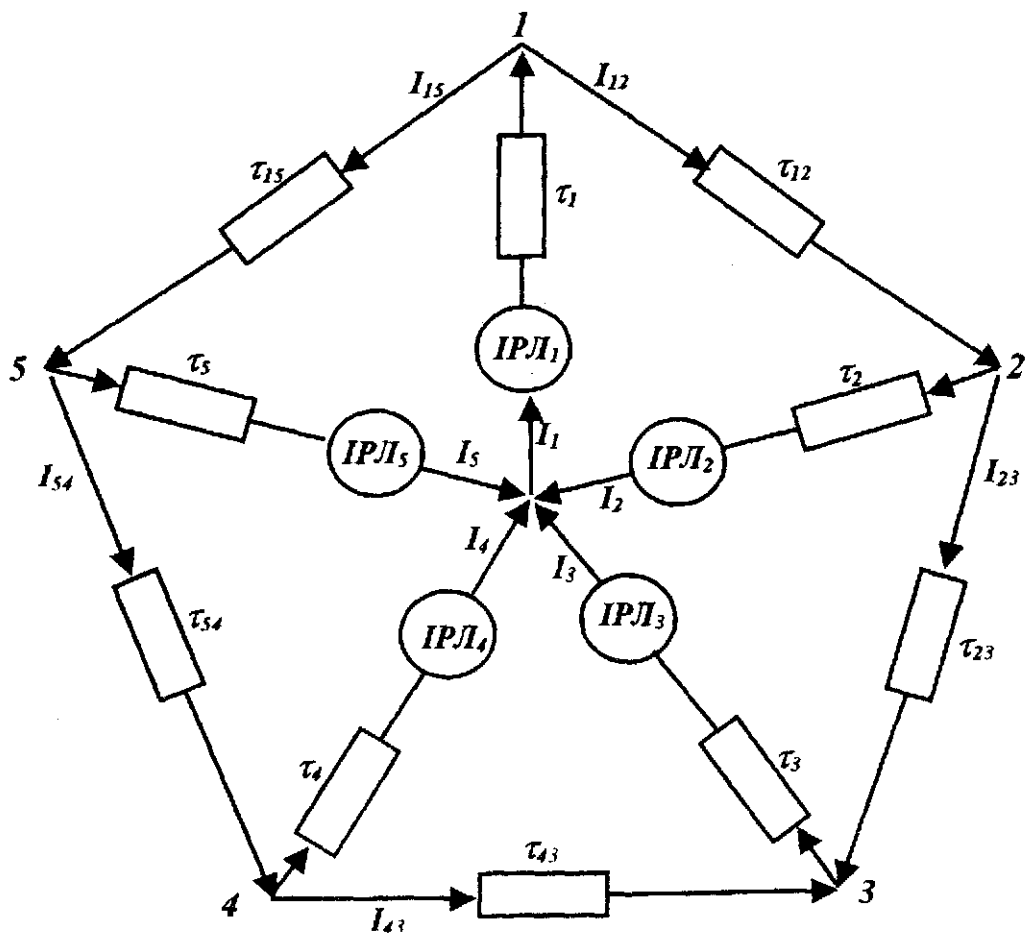


Рис. 3. Електрична схема частини I

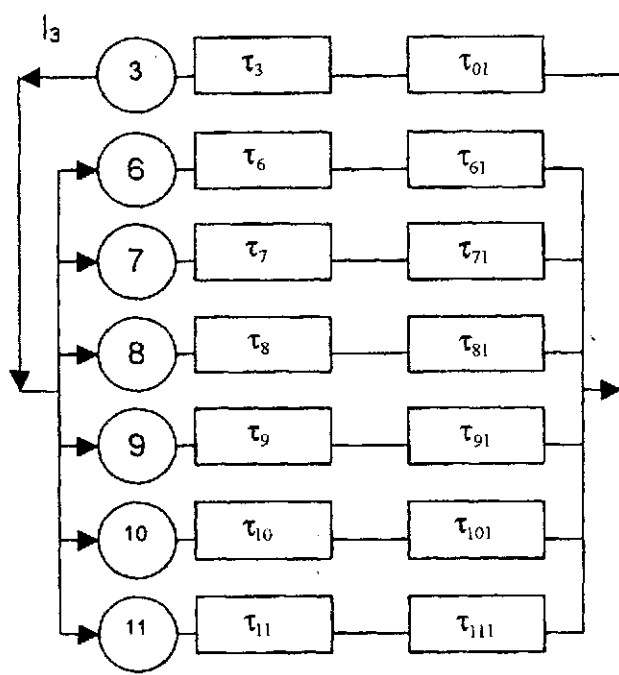


Рис. 4. Електрична схема частини II

Розв'язуємо систему рівнянь матричним методом (знаходимо визначники п'ятого порядку). Після розв'язання отримуємо значення струмів:

$$I_{12} = \frac{-2h(-3\tau_{BT}^4 + 4\tau_{BT}^3\tau_H - \tau_{BT}^2\tau_H^2 - 5\tau_{BT}\tau_H^3 - \tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_{23} = \frac{-2h(-3\tau_{BT}^4 + 9\tau_{BT}^3\tau_H + 8\tau_{BT}^2\tau_H^2 + 5\tau_{BT}\tau_H^3 + \tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_{34} = \frac{-2h(-3\tau_{BT}^4 - 6\tau_{BT}^3\tau_H - 2\tau_{BT}^2\tau_H^2 - \tau_{BT}\tau_H^3)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_{45} = \frac{-2h(-3\tau_{BT}^4 - 6\tau_{BT}^3\tau_H - 2\tau_{BT}^2\tau_H^2 + \tau_{BT}\tau_H^3)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_{15} = \frac{-2h(-2\tau_{BT}^4 - 10\tau_{BT}^3\tau_H - 8\tau_{BT}^2\tau_H^2 + \tau_{BT}\tau_H^3 + \tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_1 = \frac{-2h(-5\tau_{BT}^4 - 6\tau_{BT}^3\tau_H - 9\tau_{BT}^2\tau_H^2 - 4\tau_{BT}\tau_H^3)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_2 = \frac{-2h(-6\tau_{BT}^4 - 5\tau_{BT}^3\tau_H - 9\tau_{BT}^2\tau_H^2 - 10\tau_{BT}\tau_H^3 - 2\tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_3 = \frac{-2h(3\tau_{BT}^3\tau_H + 6\tau_{BT}^2\tau_H^2 + 4\tau_{BT}\tau_H^3 + \tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_4 = \frac{-2h(2\tau_{BT}\tau_H^3)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

$$I_{12} = \frac{-2h(\tau_{BT}^4 - 4\tau_{BT}^3\tau_H - 6\tau_{BT}^2\tau_H^2 + \tau_H^4)}{8\tau_{BT}^5 - 7\tau_{BT}^4\tau_H - 2\tau_{BT}^3\tau_H^2 - 7\tau_{BT}^2\tau_H^3 - 4\tau_{BT}\tau_H^4 - \tau_H^5};$$

Беручи до уваги, що $\tau_{\text{BT}} \ll \tau_{\text{H}}$ (тільки в цьому випадку послідовне з'єднання ефективне), для порівняння струмів ступені τ_{BT} два і більше відкидаємо. Виходить, що порівнювати треба наступні вирази:

$$\begin{aligned}
 I_{12} &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(-5\tau_{\text{BT}} + \tau_{\text{H}}) & \text{і} & & I_1 &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(-4\tau_{\text{BT}}); \\
 I_{23} &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(5\tau_{\text{BT}} + \tau_{\text{H}}) & \text{і} & & I_2 &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(-(10\tau_{\text{BT}} + 2\tau_{\text{H}})); \\
 I_{34} &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(-\tau_{\text{H}}) & \text{і} & & I_3 &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(4\tau_{\text{BT}}); \\
 I_{45} &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(\tau_{\text{BT}}) & \text{і} & & I_4 &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(2\tau_{\text{BT}}); \\
 I_{15} &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(\tau_{\text{BT}} + \tau_{\text{H}}) & \text{і} & & I_5 &\Rightarrow (-2h\tau_{\text{H}}^3)(\tau_{\text{H}}).
 \end{aligned}$$

Результати порівняння:

$$|I_2| = 2|I_3| = 2|I_5| > |I_4| = |I_1|.$$

Складати систему рівнянь і розв'язувати її відносно частини II немає потреби, оскільки всі елементи та їхні співвідношення зрозумілі зі схеми (рис. 4).

Зробимо деякі висновки.

1. Із застосуванням методу інформаційних ланцюгів до типової схеми організації роботи служби руху була складена в загальному вигляді і розв'язана система лінійних рівнянь з десятима невідомими. Визначено, що схему можна розділити на дві різні за задачами і функціям частини.

2. При організації взаємодії членів в частині I за існуючою схемою найбільше навантаження випадає на начальника служби руху, менше за інших завантажені інструктор-перекладач та начальник аеропорту. Таким чином, посади в групі довгострокового планування та стратегічного управління повинні обіймати люди досвідчені, талановиті, з високими розумовими здібностями.

3. При організації взаємодії членів в частині II за існуючою схемою авіадиспетчеру необхідний для роботи низький внутрішній опір, тобто рішучість та добра реакція. При цьому керівник польотів виявляється у шість разів більше завантажений, ніж диспетчери. Він також є з'єднуючою ланкою, тому що належить до обох частин загальної схеми. Все це висуває до керівника польотів дуже строгі вимоги: додатково до високого професіоналізму необхідні рішучість та схильність до ризику.

4. Оскільки керівник польотів завантажений в багато разів більше, ніж інші члени підрозділу (через присутність в обох частинах схеми), вважаємо за доцільне надати йому на допомогу засоби штучного інтелекту.

5. На підставі отриманих результатів можна зробити загальний висновок щодо працездатності та керованості служби руху, яка працює за типовою схемою.

Стаття надійшла до редакції 4 жовтня 1999 року.