

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ

У статті запропоновано нову модель процесу передачі інформації з застосуванням сучасних інформаційно-комунікаційних засобів (ІКЗ). Процес передачі інформації за допомогою сучасних ІКЗ представлено у вигляді системи з резервом часу, який не поповнюється. В результаті розробки отримано у явному вигляді аналітичну залежність для розрахунку ймовірності своєчасної передачі інформації з застосуванням ІКЗ за допустимий час. Отримані результати дають можливість проводити узагальнену якісну і кількісну оцінку впливу дестабілізуючих факторів на своєчасність передачі інформації з застосуванням ІКЗ. Розроблена модель дозволить планувати та здійснювати інформаційне забезпечення з застосуванням сучасних ІКЗ.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, інформаційно-комунікаційні засоби, передача інформації, дестабілізуючі фактори.

Постановка проблеми. У зв'язку з швидким розвитком інформаційних технологій та впровадженням їх у всі сфери життя, якісне управління не можливе без ефективного інформаційного забезпечення з застосуванням сучасних інформаційно-комунікаційних засобів (ІКЗ) [1]. Тому постає актуальним вирішення задачі з підвищення ефективності передачі-прийому інформації за рахунок забезпечення своєчасності виконання завдань з застосуванням сучасних ІКЗ та стійкості цього процесу при впливі дестабілізуючих факторів. Одним із шляхів вирішення такої задачі є формалізація процесу передачі-прийому інформації з застосуванням сучасних ІКЗ та розробка відповідної математичної моделі цього процесу з метою отримання в явному вигляді аналітичного виразу для розрахунку ймовірності своєчасної передачі-прийому (далі тільки передачі) інформації за допомогою сучасних ІКЗ при врахуванні впливу на цей процес дестабілізуючих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз показав, що в існуючій літературі [2-6] розглянуті питання присвячені організаційним та технічним заходам щодо зменшення впливу природних та промислових перешкод на передачу-прийом інформації, їх виявленню та корекції помилок від їх впливу, питанням підвищення надійності, живучості, швидкодії та пропускнуєї спроможності, безпеці передачі інформації. Розглянуті в літературі моделі процесу передачі інформації можуть бути використані тільки частково тому що не повною мірою формалізують вирішення даної задачі та описують ймовірнісну картину процесу передачі інформації за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних засобів. Зокрема, в них обмежена можливість проведення узагальненої ймовірнісної оцінки впливу дестабілізуючих факторів (дії навмисних і випадкових перешкод, порушення умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, вихід із ладу ІКЗ тощо) на своєчасність передачі інформації з застосуванням ІКЗ та можливість при цьому використання часової надлишковості, а саме використання резерву часу (на підготовку та налаштування, вибір режимів тощо).

Формування цілей статті. Отже, метою статті є розробка математичної моделі процесу передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ, яка б формалізувала ймовірнісний процес передачі інформації за допомогою сучасних ІКЗ та дозволила якісно і кількісно оцінити вплив дестабілізуючих факторів на процес з метою підвищення його ефективності.

Постановка задачі. Представимо процес передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ у вигляді системи з резервом часу, який не поповнюється. У процесі передачі інформації з

застосуванням сучасних ІКЗ, тривалість якої є випадковою величиною (ВВ) $t_{ВЗ}$ з математичним очікуванням (МОЧ) $\bar{t}_{ВЗ}$ та довільною функцією розподілу (ФР), можливі переривання в передачі інформації, пов'язані з впливом дестабілізуючих факторів. Тоді час передачі інформації між перериваннями є ВВ t_0 з ФР $F(t_0)$. Час на який передача інформації переривається та поновлюється знову – ВВ t_B із ФР $F_B(t_B)$. Після переривання передача інформації продовжується. Тобто, у процесі передачі інформації проміжки часу передачі чергуються з інтервалами часу переривання та поновлення передачі інформації. Для передачі інформації з застосуванням ІКЗ надається понад мінімально необхідного, основного часу передачі інформації t_3 ще і резервний час на налаштування, вибір режиму роботи тощо t_p , так що повний допустимий час $t_D = t_3 + t_p$. При перериванні передачі інформації результати вже переданої інформації не знецінюються, і тому весь наробіток системи за визначену тривалість є корисний. Це створює сприятливі умови для витрати резерву часу лише на поновлення передачі інформації. Інформація передається за повний припустимий час t_D з ймовірністю $P_{ВЗ}$. Зрив передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ виникає в той момент часу, коли сумарний час простою системи $t_{ПР}$, $t_{ПР} = t_{ВЗ} - t_3$ перевищить рівень t_p .

Як показник ефективності розглянутої системи оберемо ймовірність своєчасної передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ за повний допустимий час [2-4, 6]

$$P_{ВЗ} = P\{t_{ВЗ} \leq t_D, t_D \geq t_3\},$$

де $t_{ВЗ}$ - час передачі інформації, що обчислюється від початку допустимого інтервалу часу до того моменту, коли корисний час передачі інформації досягне величини t_3 .

Під своєчасністю передачі інформації будемо розуміти властивість ІКЗ забезпечувати передачу (доставку) інформації за допустимий час.

Вираз показує, що ймовірність своєчасної передачі інформації за повний допустимий час є ймовірністю того, що час передачі інформації не перевищить допустимого.

Вихідні умови та припущення. Визначення показника ефективності системи проведемо при наступних припущеннях:

тривалість передачі інформації t_0 без резерву часу до першого переривання є випадкова величина, що розподілена за експоненціальним законом $F(t_0)$ з параметром λ ;

тривалість переривання та поновлення передачі інформації t_B , що рахується від моменту виникнення переривання до продовження передачі інформації не залежить ні від кількості переривань у минулому, ні від часу роботи системи з моменту попереднього переривання передачі та розподілена за експоненціальним законом $F_B(t_B)$ з параметром μ ;

кількість переривань та поновлень передачі інформації в допустимому інтервалі часу не обмежується;

тривалість між “сусідніми” перериваннями розподілена за тим же законом $F(t_D)$, що і тривалість часу до першого переривання;

після поновлення передача інформації з застосуванням ІКЗ продовжується;

програмне забезпечення ідеальне і дозволяє з ймовірністю “одиниця” визначити будь-яку несправність ІКЗ;

використовує ІКЗ персонал середньої підготовки;

за час виконання завдання з передачі інформації $t_{ВЗ}$ ймовірність простою ІКЗ через відсутність на вході інформації дорівнює нулю.

Розробка математичної моделі. Використовуючи постановку задачі і прийняті вихідні припущення складемо рівняння для визначення ймовірності своєчасної передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ за повний припустимий час.

При виводі рівнянь будемо користуватись інтегральним методом [7]. Розглянемо дві умовні ймовірності $P^{(0)}(t_3, t_p)$ – ймовірність своєчасної передачі інформації тривалістю t_3 ІКЗ з резервом часу t_p за умови, що в початковий момент часу ІКЗ працездатний та готовий до передачі інформації, впливу дестабілізуючого фактору не виявлено; $P^{(1)}(t_3, t_p)$ – теж саме, але за умови, що в початковий момент часу відбулося переривання передачі інформації під впливом дестабілізуючого фактора. Знайдемо тепер зв'язок цих ймовірностей з заданими функціями $F(t_d)$ та $F_B(t_d)$. Нехай у початковий момент часу дестабілізуючі фактори відсутні, або їх вплив зведено до нуля. Тоді складну подію “своєчасної передачі інформації” можна представити у вигляді суми двох несумісних подій: до своєчасної передачі інформації не відбудеться жодного впливу дестабілізуючого фактора, який викликає переривання (подія A_1); відбудеться, по меншій мірі один вплив дестабілізуючого фактора який викликає переривання, але передача інформації буде виконана у вказаний термін (подія A_2). Користуючись теоремою додавання ймовірностей несумісних подій, отримуємо вираз для ймовірності своєчасної передачі інформації з застосуванням ІКЗ за повний допустимий час

$$P^{(0)}(t_3, t_p) = 1 - F(t_3) + \int_0^{t_3} P^{(1)}(t_3 - \tau, t_p) dF(\tau), \quad (1)$$

де $1 - F(t_3)$ – ймовірність передачі інформації за мінімально необхідний час t_{3d} .

Підінтегральний вираз в формулі (1) представляє собою ймовірність складної події В, що дорівнює добутку двох незалежних подій (B_1 і B_2). Подія B_1 полягає в тому, що перша затримка передачі інформації під впливом дестабілізуючого фактора відбудеться в момент $\tau < t_3$, його ймовірність дорівнює $dF(\tau) = F(\tau + d\tau) - F(\tau)$. Якщо $F(t_d)$ – та, що диференціюється в точці τ , то $dF(\tau) = a(\tau)d\tau$, де $a(\tau)$ – частота виникнення переривань передачі інформації з застосуванням ІКЗ під впливом дестабілізуючого фактора без урахування резерву часу. Подія B_2 полягає в тому, що на процес передачі інформації та ІКЗ в початковий момент впливає дестабілізуючий фактор, який викликає переривання, але передача інформації відбудеться за час $t_3 - \tau$ не витративши цілком резерву часу t_p . Ймовірність цієї події дорівнює $P(B_2) = P^{(1)}(t_3 - \tau, t_p)$. Згідно з теоремою множення ймовірностей незалежних подій, ймовірність події В знаходиться як добуток $P(B) = P(B_1 B_2) = \int_0^{t_3} P^{(1)}(t_3 - \tau, t_p) dF(\tau)$. Інтегруючи його по τ від нуля до t_3 , одержуємо ймовірність події A_2 .

Нехай тепер у початковий момент часу $x=0$ під впливом дестабілізуючого фактору виникло переривання передачі інформації. Передача інформації з застосуванням ІКЗ за допустимий час може відбутися при збігу таких двох незалежних подій: якщо переривання і поновлення передачі інформації пройде за час $\theta < t_p$ (ймовірність цієї події дорівнює $dF_B(\theta)$), а уся інформація передасться з застосуванням ІКЗ за час t_3 , раніше ніж буде вичерпаний залишок резерву часу $t_p - \theta$ (ймовірність цієї події дорівнює $P^0(t_3, t_p - \theta)$). Складаючи добуток ймовірностей та інтегруючи по θ від нуля до t_p , одержуємо друге інтегральне рівняння для шуканих ймовірностей своєчасної передачі інформації за повний допустимий час:

$$P^{(1)}(t_C, t_D) = \int_0^{t_D} P^0(t_C, t_D - \theta) dF_A(\theta). \quad (2)$$

Систему рівнянь (1) і (2) можна звести до одного інтегрального рівняння другого

порядку щодо кожної з невідомих ймовірностей. Так, заміняючи в виразі (2) t_3 на $t_3 - \tau$

$$P^{(1)}(t_3 - \tau, t_p) = \int_0^{t_p} P^{(0)}(t_3 - \tau, t_p - \theta) dF_B(\theta).$$

Підставляючи отриманий вираз в (1), маємо

$$P^{(0)}(t_3, t_p) = 1 - F(t_3) + \int_0^{t_3} \int_0^{t_p} P^{(0)}(t_3 - \tau, t_p - \theta) dF_B(\theta) dF(\tau), \quad (3)$$

$$P^{(1)}(t_3, t_p) = (1 - F(t_3))F_B(t_p) + \int_0^{t_3} \int_0^{t_p} P^{(1)}(t_3 - \tau, t_p - \theta) dF_B(\theta) dF(\tau). \quad (4)$$

Вирази (3) і (4) є рівняннями Вольтера. Заміною змінних в виразах (3) і (4) можливо перейти до рівнянь відносно шуканої $P(t_3, t_D)$. Замінюючи в виразі (3) t_p на $t_D - t_3$ та додаючи під знаком інтегралу до другого аргументу функції перший, отримуємо:

$$P(t_3, t_D) = 1 - F(t_3) + \int_0^{t_3} \int_0^{t_D - t_3} P^{(0)}(t_3 - \tau, t_D - \tau - \theta) dF_B(\theta) dF(\tau), \quad (5)$$

де $t_3 \leq t_D$.

Для знаходження показника ефективності використаємо перетворення Лапласа-Карсона [7].

У цьому випадку

$$P^{**}(s, \omega) = s\omega \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} P(t_C, t_D) e^{-st_C - \omega t_D} dt_C dt_D.$$

Для рішення рівняння Вольтера (5) перетворимо його в більш зручний для обчислень вид за допомогою операції згортки. Тоді рівняння прийме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} P_1^{(0)}(t_3, t_D) &= 1 - F_D(t_3) + \int_0^{t_3} P_1^{(0)}(t_3 - \tau, t_D) * F_B(t_3) dF(\tau) = \\ &= 1 - F(t_3) + P_1^{(0)}(t_3, t_D) * F_B(t_D) * F(t_3). \end{aligned}$$

Застосовуючи тепер подвійне перетворення Лапласа-Карсона до обох частин рівняння одержимо:

$$\begin{aligned} P^{**}(s, \omega) &= s\omega \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} (1 - F(t_3)) e^{-st_3 - \omega t_D} dt_3 dt_D + \\ &+ s\omega \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} P_1^{(0)}(t_3, t_D) * F_B(t_D) * F(t_3) e^{-st_3 - \omega t_D} dt_3 dt_D. \end{aligned}$$

Звідси

$$P^{**}(s, \omega) = [1 - f(s)] / [1 - f(s)f_B(\omega)] = 1 - \frac{f(s)[1 - f_B(\omega)]}{1 - f(s)f_B(\omega)}. \quad (6)$$

Для експоненціального розподілу $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ і $F_B(t) = 1 - e^{-\mu t}$. У цьому випадку

$$f(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d(1 - e^{-\lambda t}) = \lambda \int_0^{\infty} e^{-(s+\lambda)t} dt = \frac{\lambda}{s + \lambda}; \quad (7)$$

$$f_B(\omega) = \int_0^{\infty} e^{-\omega\theta} d(1 - e^{-\mu\theta}) = \mu \int_0^{\infty} e^{-(\omega+\mu)\theta} d\theta = \frac{\mu}{\omega + \mu}. \quad (8)$$

Підставляючи вираз (7) у вираз (6), знаходимо

$$P^{**}(s, \omega) = s / (s + \lambda[1 - f_B(\omega)]).$$

Виконуючи зворотне перетворення по s , одержуємо

$$P^*(t_3, \omega) = \exp(-\lambda_d t_3 [1 - f_B(\omega)]). \quad (9)$$

Підставляючи у вираз (9) вираз (8), розкладаючи експоненту по ступенях $\rho = \lambda t_3$, одержимо вираз для зображення у вигляді наступного ряду:

$$P^*(t_3, \omega) = e^{-\lambda_d t_3 [1 - f_B(\omega)]} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (\lambda t_3)^k}{k!} \cdot \frac{\omega^k}{(\omega + \mu)^k} = 1 + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-\rho)^k}{k!} \cdot \frac{\omega^k}{(\omega + \mu)^k}.$$

Виконуючи зворотне перетворення по ω [7], одержимо наступну розрахункову формулу для ймовірності своєчасної передачі інформації з застосуванням ІКЗ за припустимий час при впливі дестабілізуючих факторів у явному виді:

$$P_{ВЗд}(\rho, \gamma) = 1 + e^{-\gamma} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-\rho)^i}{i!} L_{i-1}(\gamma), \quad (10)$$

де $\gamma = \mu_d t_{Pd} = \mu_d (t_{Dd} - t_{3d})$, $\rho = \lambda_d t_{3d}$.

$L_i(\gamma)$ - i -й поліном Лагера нульового порядку

$$L_i(\gamma) = \frac{1}{i!} e^{\gamma} \frac{d^i}{d\gamma^i} (\gamma^i e^{-\gamma}) = \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \frac{(-\gamma)^j}{j!}.$$

Аналіз отриманої формули для розрахунку ймовірності своєчасної передачі інформації з застосуванням ІКЗ за припустимий час буде проведений в наступних роботах.

Висновки. Розроблено нову модель процесу передачі інформації з застосуванням сучасних ІКЗ. Новизна моделі полягає в тому, що процес передачі інформації за допомогою сучасних ІКЗ представлено у вигляді системи з резервом часу, який не поповнюється. Розроблена модель дозволяє підвищити своєчасність передачі інформації, при впливі дестабілізуючих факторів, а також більш обґрунтовано підходити до вибору параметрів ІКЗ на етапі проектування а також режимів роботи, налаштувань тощо при застосуванні.

Отримані результати дають можливість проводити якісну і кількісну оцінку впливу дестабілізуючих факторів на своєчасність передачі інформації з застосуванням ІКЗ за допомогою сучасних ІКЗ. Розроблена модель дозволить планувати та здійснювати інформаційне забезпечення з застосуванням сучасних ІКЗ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Інформаційна політика України: Європейський контекст / Леонід Губерський, Євген Камінський, Євгенія Макаренко и др. - К.: Либідь, 2007. - 358 с.
2. Кветний Р. Основи техніки передавання інформації. Підручник. Р. Кветний, М.Компанець, С.Кривогубченко, А.Кулик. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2002. - 358 с.
3. Хома В.В. Основи збору, передачі та оброблення інформації Навчальний посібник. Серія

“Дистанційне навчання”. № 43. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 312 с.

4. Гроднев И.И. Теория направляющих систем связи / И.И. Гроднев, В.О. Шварцман. – М.: Связь, 1978. – 296 с.

5. Жураковский Ю.П. Передача информации в ГАП. - К.: Вища школа, 1991. – 216 с..

6. Макаров В.А. Теоретические основы телемеханики. Л: Изд-во ЛГУ, 1974 – 287 с.

7. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

Рецензент: д.т.н, доц. **Вишнівський В.В.**, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., с.н.с. **Гахович С.В.**, к.т.н. **Буяло О.В.**, к.т.н. **Молдован В.Д.**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО- КОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

В статье предложена новая модель процесса передачи информации с применением современных информационно-коммуникационных средств (ИКС). Процесс передачи информации с помощью современных ИКС представлен в виде системы с непополняемым резервом времени. В результате разработки получено в явном виде аналитическую зависимость для расчета вероятности своевременной передачи информации с применением ИКС за допустимое время. Полученные результаты дают возможность проводить обобщенную качественную и количественную оценку влияния дестабилизирующих факторов на своевременность передачи информации с применением ИКС. Разработанная модель позволит планировать и осуществлять информационное обеспечение с применением современных ИКС.

Ключевые слова: информационное обеспечение, информационно-коммуникационные средства, передача информации, дестабилизирующие факторы.

candidate of engineering sciences, **Gakhovich Sergij**,
candidate of engineering sciences, **ByjaloOleksij**,
candidate of engineering sciences, **Moldovan Volodymyr**

MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION TRANSMISSION WITH THE USE OF MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION EQUIPMENT

In the article proposes a new model of communication using information and communication equipment (ICE). The process of transferring information using modern ICE represented as a system of reserve time, which is not replenished. As a result of the development obtained in explicit analytical dependence for calculating the likelihood of timely transmission of information using ICE than that time. These results make it possible to carry out a generalized qualitative and quantitative assessment of the impact of destabilizing factors in the timely transmission of information using ICE. The model will plan and implement information management using modern ICE.

Keywords: information management, information and communication equipment, information transmission, destabilizing factors.