

УДК 621.396.662.072.078

Дищук А.С.; Федюнін С.А.; Стец О.С., к.т.н.;
Твердохліб М.Г., к.т.н.; Аскеров М.

АНАЛІЗ ВИДІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Dyshchuk A.S., Fedyunin S.A., Stets A.S., Tverdokhlib M.H., Askerov M. Analysis of the types of complex systems and their properties. The article analyzes the types of systems: static (without memory) and dynamic (inertial). Each of the systems as an object of study characterized by certain features, characterizing the different aspects of their functioning. Causality – determines the system's ability to respond to the input, that acts as a property of the physical implementation of devices or systems. The controllability – ability to identify systems or adapt, through distribution effects on control (utility) and excitatory actions (negative). Structural complexity – the ability to convert Upcoming information. Structural complexity attributed to the level of interaction between the elements of the system takes into account the diverse nature of these relationships. Structural connectivity – makes it possible to analyze the connectivity of nodes in the communication system by which to identify the weakest links and provide the desired level of connectivity features. Research the basic properties of communication systems and determine their characteristics to effectively increase the quality of management of telecommunication networks.

Keywords: complex systems, integrity, causality, observation, controllability, structural complexity, adaptability, structural connectiv

Дищук А.С., Федюнін С.А., Стец О.С., Твердохліб М.Г., Аскеров М. Аналіз видів складних систем та їх властивостей. В статті проведено аналіз видів систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних). Кожній з систем як об'єкту дослідження властиві певні особливості (цілісність, причинність, спостереження, керованість, здатність адаптуватися, зв'язність, структурна складність), які характеризують різні сторони їхнього функціонування. Проведення досліджень основних властивостей систем зв'язку і визначення їх характеристик дають змогу ефективно підвищити показники якості систем управління.

Ключові слова: складна система, цілісність, причинність, спостереження, керованість, здатність адаптуватися, зв'язність, структурна складність

Дищук А.С., Федюнин С.А., Стец А.С., Твердохлеб Н.Г., Аскеров М. Анализ видов сложных систем и их свойств. В статье проведен анализ видов систем: статических (безынерционных) и динамических (инерционных). Каждой из систем как объекта исследования свойственны определенные особенности (целостность, причинность, наблюдения, управляемость, способность адаптироваться, связность, структурная сложность), характеризующие различные стороны их функционирования. Проведение исследований основных свойств систем связи и определение их характеристик позволяют эффективно повысить показатели качества систем управления

Ключевые слова: сложная система, целостность, причинность, наблюдение, управляемость, адаптируемость, связность, структурная сложность

Вступ. Телекомунікації переживають етап динамічного зросту, зумовлений не тільки вимогами інформаційного обміну, але й можливостями інноваційних технологій по забезпеченню тривалої якісної роботи засобів і мереж телекомунікацій у процесі їх постійного вдосконалення та розвитку. Відповідно набуває особливої ваги визначення та вирішення різноманітних наукових проблем і задач підвищення показників якості систем і пристроїв управління – від загальномережних та загальнооператорських задач оптимізації управління, пов'язаних з побудовою надійних, ефективних, гнучких структур до підвищення надійності, точності, швидкодії окремих компонент - систем управління та контролю їх ефективності [1,4].

В статті проведено аналіз видів систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних). Кожній з них як об'єкту дослідження властиві певні особливості, які характеризують різні сторони їхнього функціонування.

При визначенні інтегральних якостей систем (забезпечення стійкості), важливу роль відіграє **цілісність**, яка відображає залежність між елементами. **Причинність** – визначає здатність системи реагувати на вхідні впливи, тобто виступає як властивість фізичної

реалізації пристроїв або систем. Важливою характерною властивістю є *керованість* –, здатність систем ідентифікуватися або адаптуватися, завдяки розподілу впливів на керуючі (корисні) і збуджуючі діяння (негативні). *Структурна складність* є однією з властивостей, за допомогою яких система здобуває здатність перетворювати надходжувану інформацію. Структурна складність, віднесена до рівня взаємодії між елементами системи, дозволяє враховувати різноманітний характер цих взаємозв'язків. *Структурна зв'язність* системи є однією з найважливіших її якісних характеристик. Визначення структурної зв'язності дає можливість здійснювати аналіз зв'язності вузлів у системі зв'язку, за допомогою якого можна визначити самі слабкі зв'язки й забезпечити потрібний рівень зв'язності систем.

Аналіз видів систем

Статичні системи. Система S є статичною (безінерційною) тоді, коли значення її вихідної величини $y(t)$ в будь-який момент часу залежать виключно від поточного значення вхідного впливу $x(t)$ і стану $z_0(t)$, з якого почалася еволюція системи [2]. При цьому, якщо знімаються вхідні впливи $x(t)$, коли $z_0(t) \equiv 0$, така система негайно переходить у стан рівноваги. З використанням логічних операцій статична система визначається виразом

$$(x, y) \in S \Leftrightarrow \exists z_0, \quad \forall t y(t) = K_t(z_0, x(t)), \quad (1)$$

що інтерпретується в такий спосіб: система, у якої визначені значення входів і виходів (x і y) буде тільки тоді статичною системою S , коли існує початковий стан z_0 , який належить до множини можливих початкових станів Z_0

Для всіх моментів часу t вихідна реакція $y(t)$ визначається початковим станом z_0 і вхідними впливами $x(t)$, які забезпечують відображення K_t в цю вихідну реакцію $y(t)$. Тобто, статична система S є безінерційною. У неї відсутні перехідні режими при впливі на систему збуджуючих діянь на вході. Потрібно зауважити: не слід плутати зі статичним врівноваженим станом інерційної або динамічної системи, яка перебуває в стані спокою після перехідних процесів. Статичні системи є певною абстракцією реальних систем, яким властиві інерційність і динамічні перехідні режими. Часто статичні системи є одночасно й системами без пам'яті, тобто системами, у яких початковий стан Z_0 однаковий й відповідно $K_t(z_0, x(t)) = K_t(x(t))$.

Динамічною системою вважається інерційна (не статична) система, у якої визначені функції переходу станів $f(t)$ і вихідної реакції $g(t)$ [3]. Стаціонарні динамічні – це клас динамічних систем, стан і структура яких не залежить від того, у який момент часу буде розглядатися вплив. Вважають, що ці системи інваріантні відносно часового зсуву:

$$\forall t' F^{t'}(x(t, t')) = F^t(x(t' - t)), \quad (2)$$

тобто для кожного моменту часу t' можна визначити оператор зрушення часу $F^{t'}$ такий, коли реакція системи на вхідний вплив у момент часу t' залежить тільки від розходження між часом його початку й поточним часом, а не від поточного часу, при цьому $t \leq t' \Leftrightarrow t' - t \geq 0$.

Для стаціонарної системи $S \subset X \times Y$, де $x \in X$, $y \in Y$ – впливи й реакції є стаціонарними,

$$\text{якщо} \quad \begin{cases} (\forall t)(X_t = F^t(X)) \\ (\forall t)(Y_t = F^t(Y)) \end{cases} \quad (3)$$

Важливою властивістю стаціонарних (інваріантних у часі) систем є те, що функцію перехідного стану для будь-якого моменту часу можна одержати як результат застосування оператора здвигу до початкової реакції системи.

Адекватним описом математичної моделі динамічної системи є диференціальне рівняння

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x(t), t, u(t)), x(0) = x_0, \quad (4)$$

де $x(t) \in X$ – множина станів системи; $u(t) \in U$ – множина збуджуючих впливів.

Перша похідна $dx(t)/dt$, яка характеризує швидкість зміни станів системи, може дорівнювати нулю, що відповідає стану спокою системи, вона може дорівнювати негативній або позитивній величині, тому що це рівняння має праву частину, яка змінюється

$$\frac{dx(t)}{dt} = Fx(t), x(0) = x_0. \quad (5)$$

При $F > 0$ система поводить себе збуджено, нестабільно; при $F < 0$ вона повертається в стан спокою, її поведінка стабільна. Очевидно, при $F \equiv \infty$ динамічна система стає статичною, при відліку від ∞ до 0 інерційність зростає, при $F \equiv 0$ система стає нерухливою, у стані спокою.

Тому, теорію диференціальних рівнянь застосовують в теорії динамічних систем і цей математичний апарат є досить продуктивним, добре відпрацьованим. Проведемо аналіз лише деяких положень цієї теорії. Так диференціальне рівняння першого порядку типу (5) з вільним членом у вигляді збудженого зваженого білого Гауссівського шуму $\xi(t)$ носить назву стохастичного рівняння стану і записується

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x(t), t) + G(x(t), t)\xi(t), x(0) = x_0, \quad (6)$$

де $G(\bullet)$ – коефіцієнт збурювання, що впливає на величину дисперсії стану $x(t)$ даної динамічної системи.

На рис. 1 наведено структурну схему формуючого фільтра, процес на виході якого відповідає стану динамічної системи, аналогічної (6), але замість $F(x(t), t)$ і $G(x(t), t)$ враховані відповідно $F(t)$ і $G(t)$.

Кожній з систем як об'єкту дослідження властиві певні особливості, які характеризують різні сторони їхнього функціонування.

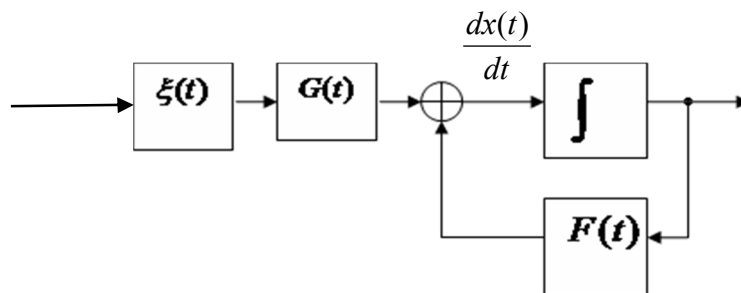


Рис. 1. Структурна схема формуючого фільтра

Цілісність є однією із найхарактерніших властивостей систем, що проявляється у виникненні нових інтегральних якостей, не властивих для утворюючих систему компонентів. Властивості системи зв'язку щодо забезпечення стійкості й інших показників є не тільки простою сумою властивостей елементів, з яких вона складається. [7] Властивості цілісності проявляються в системі: властивості системи як цілого не зводяться до суми властивостей елементів або частин; властивості системи як цілого залежать від властивостей елементів і частин, модифікація однієї частини викличе модифікації у всіх інших частинах та у всій системі.

Властивість цілісності пов'язана з метою, для виконання якої призначена система. Системи можуть мати альтернативну цілісності властивість - фізичну адитивність, незалежність. Властивість фізичної адитивності (незалежності елементів) проявляється в системі, яка ніби розпалася на незалежні елементи. Тому у випадку, коли всі елементи

стають незалежними, то вважати як систему немає змісту. Таким чином, будь-яка система перебуває між двома крайніми станами: абсолютною цілісністю, що досягається при максимальному зв'язку між елементами, і абсолютною адитивністю, коли ці зв'язки відсутні.

Термін "склеєність" елементів систем підкреслює їхню взаємозалежність. Розглядаючи еволюцію систем, користуються такими поняттями, як факторизація (прагнення системи до стану з усе більш незалежними елементами) і прогресуюча систематизація, цілісність (прагнення системи до більшої цілісності, до зростання залежності між елементами).

Причинність (каузальність) – це властивість систем, що визначає залежність вихідної реакції в будь-який момент часу винятково від вхідних впливів. Тобто властивість системи реагувати тільки на існуючі, а не на майбутні впливи. Із причинністю пов'язані властивості непередбачуваності й попередньої обумовленості. У непередбачуваній системі модифікації вихідної реакції не можуть випереджати зміни вхідного впливу. Відсутність попередньої обумовленості означає існування такого часу $t' \in T$, що для будь-яких $t \geq t'$ майбутня еволюція системи визначається винятково попередніми спостереженнями і немає жодної потреби звертатися до будь-яких допоміжних множин типу початкових умов. Вихід $y(t)$ непередбаченої системи можна визначити, знаючи тільки поточний стан системи $z(t)$ і поточне значення вхідного впливу $x(t)$. У ТК обладнанні причинність виступає як властивість фізичної реалізації пристроїв або систем.

Важливими характеристиками динамічних систем є керованість, спостереження, здатність систем ідентифікуватися й адаптуватися.

Керованість є головною серед перерахованих властивостей систем. Вона визначається як умова можливості переведення системи з одного стану в інший за заданий час або при виконанні інших заданих обмежень (за один крок, або за кілька кроків, з мінімальною витратою енергії на керування, переведення в новий стан, за заданою траєкторією та ін.). Керуючим впливом $u(t)$ звичайно виступає сигнал, що впливає на керований пристрій або регулятор, чим і досягається бажаний кінцевий стан системи. Якщо керуючий вплив $u(t)$ формується у відповідному пристрої, то говорять про автоматичне керування. Разом з тим, керуючі впливи можуть бути сформовані й самою системою. У цьому випадку - це ситуаційне керування. Якщо ж дане керування здійснюється з використанням засобів автоматизації, ЕОМ, то це - автоматизоване керування. Реалізація кінцевої задачі керування можлива за певних умов або властивостей системи. Цими необхідними умовами або властивостями саме є спостереження і здатність ідентифікуватися. [5]

Спостереження є необхідною умовою синтезу керування системою. Ця властивість характеризує пряму й непряму можливість виміру параметрів, які беруть участь у формуванні керуючих впливів. Щодо систем зв'язку, де допускається реалізація будь-якого керування режимами з метою забезпечення необхідних вимог, спостереження досягається, якщо каналами телеконтролю або службового зв'язку до керуючого центру надходить інформація про стан каналів зв'язку, технічного стану апаратури та ін. З використанням даної інформації формується керуючий вплив.

Спостереження або вимірність є необхідною складовою частиною керування. Для спостерігача, який вимірює відповідні сигнали або стан системи, інформація може надходити у вигляді безперервної $y(t)$ або дискретної в $y(k), k = 1, 2, 3, \dots, n$, функцій. Зокрема ця інформація може мати разове значення y_0 . Із самою величиною, що вимірюється, або функцією $x(t)$ спостережувана інформація може бути зв'язана лінійно

$$y(t) = H(t)x(t) + \xi(t), \quad (7)$$

або нелінійно

$$y(t) = h(x(t), t) + \xi(t), \quad (8)$$

де $H(t), h(x(t), t)$ – функції спостереження, що враховують масштаб (посилення або ослаблення), а також інші особливості засобу виміру; $\xi(t)$ – похибка (шум) спостереження, що часто апроксимують білим Гауссівським шумом з нульовим середнім.

Рівняння спостереження (7), (8) для дискретного лінійного випадку має вид

$$y(k) = H(k)x(k) + \xi(k), k = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (9)$$

для нелінійного

$$y(k) = h(x(k), k) + \xi(k). \quad (10)$$

Рівняння (9 та 10) можуть мати й більш простий вид, наприклад, коли $H(t) \equiv 1$, то $y(t) = x(t) + \xi(t)$. Якщо похибки (шум) виміру відсутні, то $y(t) = H(t)x(t)$. Їх вид може бути й складнішим, наприклад, тоді, коли ставиться задача керування результатами спостереження. У цьому випадку, якщо $X(t)$ параметри сигналів на вході радіоприймача (наприклад, просторово-поляризаційні параметри), то рівняння спостереження може мати вид

$$y(t) = H(t)x(t) + B(t)u(t) + \xi(t), \quad (11)$$

де $B(t)u(t)$ – керуюче доповнення, що переводить систему $x(t)$ в інший стан, заданий відповідним критерієм.

Функції $y(t)$ або $y(k)$ можуть набувати як скалярний, так і векторний вид, при цьому умови спостереження, як і умови керованості, пов'язані з відповідністю розміру координат системи й спостерігача [2, 6].

Умови спостереження і самі рівняння спостереження знаходять втілення не тільки в керованих системах, але й у контрольованих, до яких також належать частина систем передачі, лінії зв'язку, обладнання та його елементи.

У ролі статистичних оцінок може бути використано вибіркоче середнє значення (12) або вибіркоче дисперсія (13):

$$\hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2, \quad (13)$$

де n – об'єм вибірки; x_i – виміри.

Система може бути спостережувана, але форма спостереження або інформація, що надається, може виявитися такою, що прийняття відповідного рішення для керування все-таки не вдається. Виникає проблема ідентифікації спостережень.

Здатністю *ідентифікуватися* є властивість системи, що характеризує можливість визначення параметрів системи за результатами спостережень. Для задач ідентифікації використовують різноманітні статистичні методи: точкові або кускові (інтервальні) методи оцінки параметрів, стохастичної апроксимації, регресії, прогнозу та інші. Найпростішим і розповсюдженим випадком є такий, коли задача ідентифікації вирішується разом з оцінкою

стану системи. Ця оцінка $\hat{x}(t)$ може бути отримана за допомогою рекурсивних процедур типу Робінса-Монро, Калмана-Бьюси або інших.

Часто не відокремлюють здатність ідентифікуватися від спостереженості, вважаючи першу складовою останньої. Однак складність і важливість задачі ідентифікації обумовлює дослідження її як постійної науково-технічної проблеми.

Здатність системи *адаптуватися* – властивість, що визначає здатність забезпечувати необхідний режим функціонування в умовах невизначеності стосовно зовнішніх впливів. Адаптованість системи дає можливість підвищити її стійкість. Здатність адаптуватися часто інтерпретується як властивість самоорганізації системи. Адаптивна система повинна бути керованою, спостережуваною та здатна до ідентифікації стосовно самої себе, а також спостережуваною і здатною ідентифікуватися стосовно зовнішніх впливів.

Існує два види адаптивних систем. Адаптивність систем першого виду досягається за рахунок такого вибору внутрішніх станів і режимів окремих елементів, які при різних непередбачених, небажаних впливах або випадкових, невизначених модифікаціях якихось

характеристик забезпечують необхідне цілеспрямоване функціонування даної системи. При цьому структурні модифікації не допускаються. Така система вважається гомеостатично-адаптивною системою. Якщо ж стосовно різних впливів або модифікацій у системі припустима наявність її структурних модифікацій, то така система називається морфогенетичною адаптивною системою. Можливі адаптивні режими в системі передбачаються на етапі її створення, тобто система повинна створюватися як адаптивна. У цьому випадку можуть бути використані не тільки одноконтурні засоби адаптації, але й багатоконтурні, коли адаптивною виконується сама підсистема адаптації.

У більшості випадків на практиці систему необхідно не тільки спостерігати або досліджувати, але й домагатися одержати в результаті її функціонування корисних властивостей. Здатність системи функціонувати певним чином звичайно оцінюється по характеру або видам реакції на її виході. Щодо системи зв'язку – це такі "вихідні" характеристики як своєчасність доставки повідомлення, вірогідність прийому та ін. При цьому умови, які визначають її стан, тобто чи має система деякі властивості або ні, виражаються в існуванні відповідних певних впливів.

Стійкість є однією із найважливіших властивостей системи, без якої системи не можуть існувати. Для простих систем характерні пасивні форми стійкості. Вони пов'язані з такими властивостями, як міцність, збалансованість, гомеостатизм (повернення в рівноважений стан при виході з нього). Для складних організаційно-технічних систем, у тому числі систем зв'язку, характерні активні форми стійкості: надійність, живучість, заводозахисненість. Очевидно, активні форми стійкості варто розглядати з погляду уразливості системи під впливом зовнішніх впливів. При цьому впливу може піддаватися як окремий елемент (група елементів), так і відповідні зв'язки між елементами системи. Стійкість, що визначається при впливі на відповідні зв'язки між елементами, характеризує властивості зв'язності цієї системи.

Виходячи із причинно-наслідкового аспекту зв'язків, система вважається стійкою, якщо незначні вхідні впливи викличуть незначні вихідні її реакції. Стійкість характерна для динамічних систем, які змінюються з часом і (або) у просторі. Для стійких систем характерна наявність врівноважених станів, до яких система приходять внаслідок надходження або зняття зовнішніх впливів. Для складних систем, у тому числі систем зв'язку, визначення таких врівноважених станів відіграє принципову роль, оскільки ці стани характеризують можливості систем вирішувати свої задачі після надходження зовнішніх впливів. До таких врівноважених станів відносяться: ентропійний, до нього система приходять внаслідок витрат наявного запасу ресурсів або руйнування своєї структури; гомеостатичний, що припускає збереження структури системи при будь-яких зовнішніх впливах; морфогенетичний, пов'язаний з перебудовою структури системи під час будь-яких впливів для збереження необхідних властивостей.

Стійкість системи залежить від її типу, і, у першу чергу, від її властивостей: незначне відхилення від деякого руху при незначних збурюваннях початкового стану системи (іноді незначні збурювання початкового стану беруться не довільно, а за деяких додаткових умов; іноді незначні збурювання й відхилення визначається лише деякими параметрами); зберігати деякі риси фазового стану при незначних змінах закону руху ("зрушення" системи); у процесі руху залишатися в обмеженій зоні фазового простору; у процесі руху майже повертатися до свого початкового стану.

Щодо системи зв'язку до числа таких факторів відносять радіоелектронний вплив інших систем, несправності й відмови радіоелектронних засобів, відхилення їхніх конструктивних параметрів, зміна стану зовнішнього середовища та ін. Однією з важливих причин неповноти інформації є затримка, викликана проміжком часу, необхідного для проведення спостережень і обробки результатів.

Зв'язність (або структурна зв'язність) системи є однією з найважливіших її якісних характеристик. Дійсно, зі зникненням структурної зв'язності зникає й сама система, вона розпадається на взаємозалежні елементи. Математичний опис зв'язності може

проводиться із застосуванням різноманітних підходів, причому найбільш вдалі з них побудовані на основі теорії графів і алгебраїчної топології. Суть дослідження зв'язності полягає в тому, щоб усвідомити й виявити ті математичні конструкції, які описують характер зв'язку між окремими елементами системи. Більш продуктивним для аналізу зв'язності є підхід, що базується на топологічних ідеях. Засоби аналізу дають можливість здійснювати аналіз зв'язності вузлів або користувачів у системі зв'язку. За допомогою цього аналізу можна визначити самі слабкі зв'язки й забезпечити потрібний рівень зв'язності. Аналіз зв'язності виявляється корисним і при синтезі систем зв'язку, і при їхньому плануванні, що дає можливість використовувати цей спосіб у складних випадках для загальної оцінки зв'язності мереж зв'язку. Його можна також застосувати при оцінці живучості системи зв'язку, що може деградувати внаслідок внутрішніх або зовнішніх причин [2, 3].

Складність. Існують два варіанти тлумачення цієї властивості системи. Перше, чисто суб'єктивне, характеризує відносини спостерігача до об'єкта, коли один може різними спостерігачами сприйматися як простий, або ж досить складний. Друге тлумачення - об'єктивна характеристика, не пов'язана зі спостерігачем. Щодо самих систем об'єктивну складність визначають у такий спосіб. Виділяють сторони складності: структурну, динамічну й обчислювальну.

Структурна складність визначається властивостями зв'язків між елементами системи. Вона може характеризувати ієрархічну структуру, схему зв'язності, розмаїтість елементів, рівень або силу взаємодії між елементами системи.

Структурна складність, віднесена до ієрархії елементів системи, повинна, припускати наявність цієї ієрархії. Така ієрархія стосовно систем зв'язку встановлюється не тільки відповідною підпорядкованістю (головна станція і її користувачі), але й тим, що існують різні рівні перетворення сигналів.

Структурна складність є однією з властивостей, за допомогою яких система здобуває здатність перетворювати надходжувану інформацію. Ця складність пов'язана із принципом необхідної розмаїтості Ешбі: розмаїтість може бути усунуто або знищено тільки розмаїтістю. Наприклад, розмаїтість впливів на систему зв'язку різних завод можна запобігти тільки відповідною розмаїтістю керування його параметрами або іншими засобами, у результаті яких перейдемо до ентропійного, гомеостатичного або морфологічного врівноваженого стану. Структурна складність, віднесена до рівня взаємодії між елементами системи, дозволяє враховувати різноманітний характер цих взаємозв'язків. Тому будь-яка система може бути складною, з одного боку, і простою, з іншого, або ж ця складність може визначатися в деяких співвідношеннях.

Динамічна складність або складність поведінки системи визначається тим, наскільки складна реакція системи на простий вплив. Динамічна складність також пов'язана з характеристиками стійкості, коли малі вхідні впливи приводять до значних вихідних реакцій.

Структурна складність системи також впливає на динамічну складність. Однак зворотна залежність не виконується. Так, система може бути структурно простою, хоча її поведінка виявиться досить складним.

Висновки. В статті представлено аналіз видів систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних), з метою поліпшення надійності їх функціонування в цілому, а також підвищення якості проектних розробок для таких систем [1, 8].

Проаналізовано системи мобільного радіозв'язку: статичні (безінерційні) і динамічні (інерційні). Визначено кожній з них як об'єкту особливості, що характеризують різні сторони їхнього функціонування. Проведено аналіз основних властивостей систем. При визначенні інтегральних якостей систем (забезпечення стійкості), важливу роль відіграє *цілісність*, яка відображає залежність між елементами. *Причинність* – визначає здатність системи реагувати на вхідні впливи, тобто виступає як властивість фізичної реалізації пристроїв або систем. Важливою характерною властивістю є *керуваність* -, здатність систем ідентифікуватися або адаптуватися, завдяки розподілу впливів на керуючі (корисні) і збуджуючі діяння

(негативні). *Структурна складність* є однією з властивостей, за допомогою яких система здобуває здатність перетворювати надходжувану інформацію. Структурна складність, віднесена до рівня взаємодії між елементами системи, дозволяє враховувати різноманітний характер цих взаємозв'язків. *Зв'язність* (або *структурна зв'язність*) системи є однією з найважливіших її якісних характеристик. Щоб виявити математичні конструкції, які описують характер зв'язку між окремими елементами системи, доцільно проводити дослідження зв'язності за допомогою теоретично-графових засобів та методів комбінацій топології. Результати аналізу дають можливість здійснювати аналіз зв'язності вузлів у системі зв'язку, за допомогою якого можна визначити самі слабкі зв'язки й забезпечити потрібний рівень зв'язності властивості систем.

Література:

1. Стеклов В.К. Проектування телекомунікаційних мереж : підручник для ВНЗ / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – Київ : Техніка, 2002. – 792 с.
2. Поповский В.В. Математическое моделирование сложных систем / В.В. Поповский. – Ленинград : ВАС, 1990. – 156 с.
3. Лазарев В.Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи / В.Г. Лазарев, Ю.В. Лазарев. – Москва : Радио и связь, 1983. – 216 с.
4. Стеклов В.К. Сучасні системи управління в телекомунікаціях / В.К. Стеклов, Б.Я. Костік, Л.Н. Беркман. – Київ : Техніка, 2005. – 400 с.
5. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – Москва : Мир, 1989. – 544 с.
6. Гаранин М.В. Системы и сети передачи информации / М.В. Гаранин, В.И. Журавлев, С.В. Кунегин. – Москва : Радио и связь, 2001. – 320 с.
7. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [Поповський В.В., Олійник В.Ф. та ін.]. – Харків : СМІТ, 2006. – 564 с.
8. Стеклов В.К. Вимоги до системи управління інтелектуальною надбудовою / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, О.І. Чумак // Радиотехника. – 2001. – №123. – С. 104-109.

Автори статті

Дишук Анатолій Станіславович – директор центру документаційно-інформаційного забезпечення та контролю, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 273 46 82. E-mail: adishuk@mail.ru.

Федюнін Сергій Анатолійович – директор навчально-наукового інституту менеджменту та підприємництва, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (63) 121 64 91. E-mail: s.fediunin@gmail.com.

Стец Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, директор ЦТОЕ-2 ТОВ «Атраком», Вінниця, Україна. Тел.: +380 (67) 405 47 20. E-mail: alexander_stets@atracom.com.ua.

Твердохліб Микола Григорович – кандидат технічних наук, професор кафедри інфокомунікацій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (44) 249 29 10.

Аскеров Мукафат – аспірант, кафедра інфокомунікацій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (44) 249 29 10.

Authors of the article

Dyshchuk Anatoliy Stanislavovych – director of center of the documentary informative providing and control, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 273 46 82. E-mail: adishuk@mail.ru.

Fedyunin Serhiy Anatoliyovych – director of educational-science institute of management and enterprise, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (63) 121 64 91. E-mail: s.fediunin@gmail.com.

Stets Oleksandr Serhiyovych – candidate of science (technic), chief of CTSE-2 LLC “Atracom”, Vinnytsya, Ukraine. Tel.: +380 (67) 405 47 20. E-mail: alexander_stets@atracom.com.ua.

Tverdokhlib Mykola Hryhorovych – candidate of science (technic), professor of the department of infocommunication, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (44) 249 29 10.

Askerov Mukafat – post-graduate student, department of infocommunication, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380(44) 249 29 10.

Дата надходження в редакцію: 10.02.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман