

В.У. Ігнаткін, Ю.О. Шульжик, В.С. Дудніков, О.П. Юшкевич

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ
В ІЄРАРХІЧНИХ СТРУКТУРАХ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ
З НЕЛІНІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Анотація. Останнє десятиріччя характеризуються великою кількістю досліджень державних і суспільних діячів, яке можна назвати як епоху глибоких (докорінних) і швидких змін. Суспільство переживає якісні зміни і серйозні виклики, тому існує, свого роду парадокс, коли імперативи нової епохи змушують розробляти теоретичний базис в семантичному полі здорового глузду, що асоціюється з постійністю та якісними змінами в політичному, економічному та соціальному житті [1, 2, 3].

У державному управлінні та органах місцевого самоврядування відносини між людьми, швидка непрогнозована зміна ситуації в країні та в регіонах (політична, економічна, соціальна, тощо) є нелінійними системами управління. Більше того, будь яка фізична система при її докладнішому дослідженні завжди є нелінійною. Ефективність управління нелінійною системою з урахуванням збурюючих чинників залежить від точності прогнозування динаміки змін окремих елементів такої системи. Це є багатоаспектна проблема [15].

Характерною особливістю нелінійних ієрархічних структур (НІС) в публічній службі (державному управлінні – ДУ та місцевому самоврядуванні – МС) є безперервно дискретна зміна процесів розвитку подій, що відрізняє їх від інших внутрішніх та зовнішніх впливів, таких як і спричиняють перетворення лінійного зв'язку на нелінійний, що в кінцевому результаті призводить до нових змін. Це – по перше.

По друге, відносини «суб'єкт об'єкт» можуть мати неузгоджені дії, викликані реальними обставинами. Такі неузгоджені дії можуть ще більше виникати в перехідних процесах суспільства (наприклад, швидкості їх протікання) внаслідок інерційності окремих елементів чи самої соціальної системи в цілому. Внаслідок цих явищ порушується лінійний зв'язок між дискретними змінами і змінюється попередня ієрархічна структура, що веде до нелінійних інформаційних зв'язків в державному управлінні (ДУ) та органах місцевого самоврядування (МС). Наприклад, Г. Почепцов та інші науковці пов'язують цю нелінійність із хаосом, зростанням складності суспільних процесів, глобалізацією, з загрозою державній безпеці, прояву непередбачуваності та нестабільності [1 5].

Процесу управління в новому стані ДУ та МС ставляться жорсткі вимоги:

- *пружність системи управління;*

«Системні технології» 6 (149) 2023 «System technologies»

- система повинна описуватись як безперервно дискретна (її динаміка);
- процес управління повинен забезпечувати необхідну точність співпадання пока зників нового стану системи з попереднім.

У новоутворених нелінійних ієрархічних структурах (НІС) в ДУ та МС з'являється ряд проблем:

- недостатність апріорної інформації щодо процесів з нелінійними зв'язками;
- неточність структурної ідентифікації;
- неточність вибору критеріїв оцінювання ситуації;
- реструктуризаційні процеси;
- неправильність вибору станів природи;
- неправильності визначення вагомості вибраних критеріїв за шкалою важливості;
- невірно вибрана залежність альтернатив від критерію;
- недостатня ступінь усвідомлення складності ситуації.

Вирішення вищевказаних проблем вимагає проведення експериментальних досліджень. Якщо процес стабілізації НІС в ДУ розглядати як об'єкт регулювання, то достатньо встановити залежність цієї стійкості від управляючої дії і основного збурення, а всі інші дії розглядати як збурення на об'єкт дослідження. Такий опис буде відображати основні динамічні характеристики такого процесу і буде достатнім для синтезу та розробки системи оптимального регулювання з метою досягнення стійких (сталих) процесів в таких системах (в т. ч. ДУ та МС).

В подальшому до ДУ будемо підходити як до нелінійної ієрархічної системи (НІС) і зобразимо НІС як багатовимірну безперервну систему, в якій стан природи – є величина регульована, а входом є дія управлінців в ДУ та МС (прийняті ними управлінські рішення – ПУР) щодо регулювання, координації та збурення, що діють на систему.

Ключові слова: державне управління, місцеве самоврядування, нелінійна ієрархічна система, управлінське рішення, математичне моделювання.

Постановка задачі

Розробити ряд математичних моделей процесу зміни віддаленості елементів НІС в ДУ одна від одної стосовно управляючої дії (при умові перетворення лінійних зв'язків – на нелінійні) і оцінити зміни попереднього стану на всіх рівнях ієрархічної структури НІС.

Основна частина

На основі вказаних припущень розроблено ряд математичних моделей процесу зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії.

Блок-схема процесу зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії зображена на рис.1.

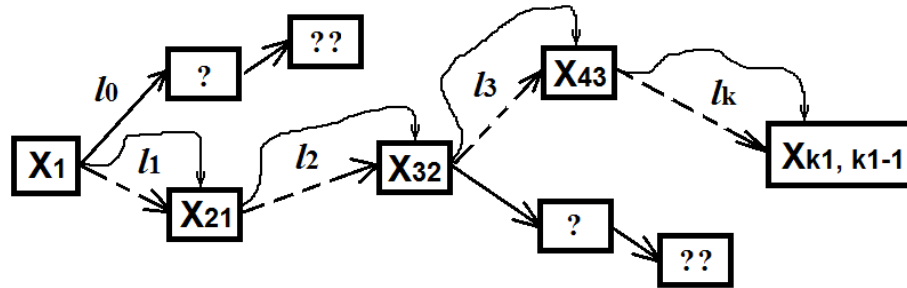


Рисунок 1 – Блок-схема процесу зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії

Розглянемо нашу нелінійну ієрархічну систему в ДУ та МС більш детально. Як обґрунтовано вище, процес зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії вважатимемо неперервним процесом і багатомірним об'єктом управління. Регульованою змінною об'єкта є зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії.

За вхідні змінні об'єкта беремо зовнішні збурення на об'єкт управління на певних стадіях управління і лінійну зміну стану об'єкта внаслідок зміни в середині системи управління, які можуть бути регулюючою дією. Припустимо, що новоутворені нелінійні зв'язки не впливають на внутрішню структуру об'єкта управління.

Запишемо в операторній формі зміну лінійного зв'язку на вході k -ого елемента структури:

$$P_{k\text{ вх}}(S) = \frac{1}{T_{k-1}S+1}P_{k-1}(S) + \frac{T_{k-1}S}{T_{k-1}S+1}\Delta P_{c(k-1)}(S), \quad (1)$$

де P_{k-1} – зміна лінійного зв'язку на попередній ієрархічній сходинці (попередньому ієрархічному рівні);

$\Delta P_{c(k-1)}$ – зміна структури зв'язку (реструктуризація зв'язку).

Підкреслимо, що зміна структури зв'язку

$$\Delta P_{c(k-1)} = P_{c(k-1)} - P_{c(k-2)}, \quad (2)$$

де $P_{c(k-1)}, P_{c(k-2)}$ – зміна події на певній ділянці внаслідок додаткової зміни в середині ієрархічної структури.

Аналогічно можна записати в операторній формі зміну структури зв'язку на вході k -ої ділянки

$$P_{k \text{ вих}}(S) = \frac{1}{T_k S + 1} P_k(S) + \frac{T_k S}{T_k S + 1} \Delta P_{ck}(S). \quad (3)$$

Тут
$$\Delta P_{ck}(S) = P_{ck}(S) - P_{c(k-1)}(S) \quad (4)$$

Зміна структури зв'язку, визначається як інтеграл різниці зміни структури зв'язку на виході і вході відповідної ділянки управління з урахуванням запізнення прийняття управлінського рішення в операторній формі запису

$$X_{k, k-1}(S) = \frac{1}{S} [P_{k \text{ вих}}(S) - e^{-T_k S} P_{k \text{ вх}}(S)]. \quad (5)$$

Зауважимо, що зміна структури зв'язку викликає безпосередню дію на безпосередній елемент ієрархічної структури і додаткову дію на зміну зв'язків на вищих ієрархіях нелінійної ієрархічної структури. Утворення нового нелінійного зв'язку впливає на зміну структури зв'язку на всіх наступних елементах НІС в ДУ та МС.

Вважаємо, що $P_{c1} = 0$. Тоді з рівняння (5) з урахуванням (1) – (4) отримаємо залежність зміни структури зв'язку на даному рівні ієрархії відносно попереднього (нижчого) рівня від управляючої стабілізуючої дії

$$\begin{aligned} X_{21}(S) &= \frac{1}{T_1 S + 1} [P_{c2}(S) - P_{c1}(S)] , \\ X_{32}(S) &= \frac{1}{T_2 S + 1} [P_{c3}(S) - P_{c2}(S)] + \frac{T_1}{T_2(T_1 S + 1)} \times \\ &\quad \times \left(\frac{1}{T_2 S + 1} - e^{-T_2 S} \right) [P_{c2}(S) - P_{c1}(S)] , \\ X_{43}(S) &= \frac{1}{T_3 S + 1} [P_{c4}(S) - P_{c3}(S)] + \frac{T_2}{T_3(T_2 S + 1)} \times \\ &\quad \times \left(\frac{1}{T_3 S + 1} - e^{-T_3 S} \right) [P_{c3}(S) - P_{c2}(S)] + \frac{T_1}{T_3(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} \\ &\quad \times \left(\frac{1}{T_3 S + 1} - e^{-T_3 S} \right) [P_{c2}(S) - P_{c1}(S)], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} X_{k, k-1}(S) &= \frac{1}{T_{(k-1)S+1}} [P_{ck}(S) - P_{c(k-1)}(S)] + \frac{T_{(k-2)}}{T_{(k-1)}(T_{(k-2)S+1}} \times \\ &\quad \times \left(\frac{1}{T_{(k-1)S+1}} - e^{-T_{(k-1)S}} \right) [P_{c(k-1)}(S) - P_{c(k-2)}(S)] + \dots + \\ &+ \frac{T_1}{T_k \prod_{k=0}^{k-1} (T_k S + 1)} \left(\frac{1}{T_k S + 1} - e^{-T_k S} \right) [P_{c2}(S) - P_{c1}(S)] . \end{aligned}$$

Така управляюча дія впливає на зміну структури і на наступних рівнях ієрархії НІС. Встановлено, що чим далі розміщений рівень ієрархії від місця

льшого аналізу і розробки систем підтримки прийняття рішень (СППР) для НІС в ДУ та МС з використанням новітніх інформаційних технологій (НІТ).

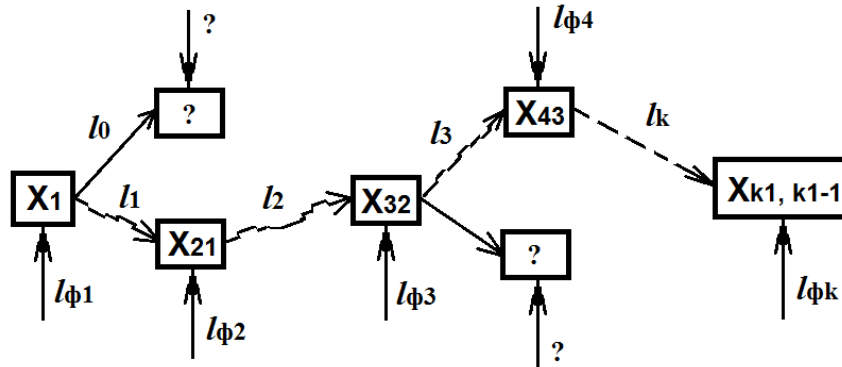


Рисунок 2 – Блок-схема моделі зміни структури НІС в ДУ при збурюючій дії, яка призводить до утворення нелінійного зв’язку

Проведені дослідження [10, 11] підтвердили доцільність використання програмних комплексів «Салют», «Сузір’я», «Консультант» та «Прорив» [9]. Однак для структур з нелінійними зв’язками вони не усувають проблеми прийняття управлінських рішень у вищенаведених ситуаціях (таких, що швидко змінюються, а також при недостатній апріорній інформації). Використання відомих на сьогоднішній день програмних засобів створює певні додаткові труднощі та незручності при прийнятті УР. До того ж необхідний додатковий час, а в досліджуваних нами ситуаціях він повинен бути – мінімальним.

З проведеного аналізу випливає, що для прийняття УР для НІС потрібно розробити інший підхід побудови програмних комплексів, які б мали інші алгоритми роботи.

За структурною схемою рис.3. можна отримати залежності зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управляючої дії.

Залежність прийнятого управлінського рішення (УР) на власному рівні ієрархії (для довільної ієрархічної сходинки) при умові, що час проходження інформації по нелінійних комунікаційних зв’язках на всіх ієрархіях однаковий ($T_k = T_{k-1} = \dots = T_2 = T_1$)

$$X_{k, k-1}(S) = \frac{1}{T_1 S + 1} P_{ck}(S). \quad (8)$$

Досліджуваний процес є інерційним об’єктом першого порядку. Зміна віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного

зв'язку на нелінійний) від управляючої дії залежить від місця прикладання управляючої дії та місця спостереження «суб'єкта».

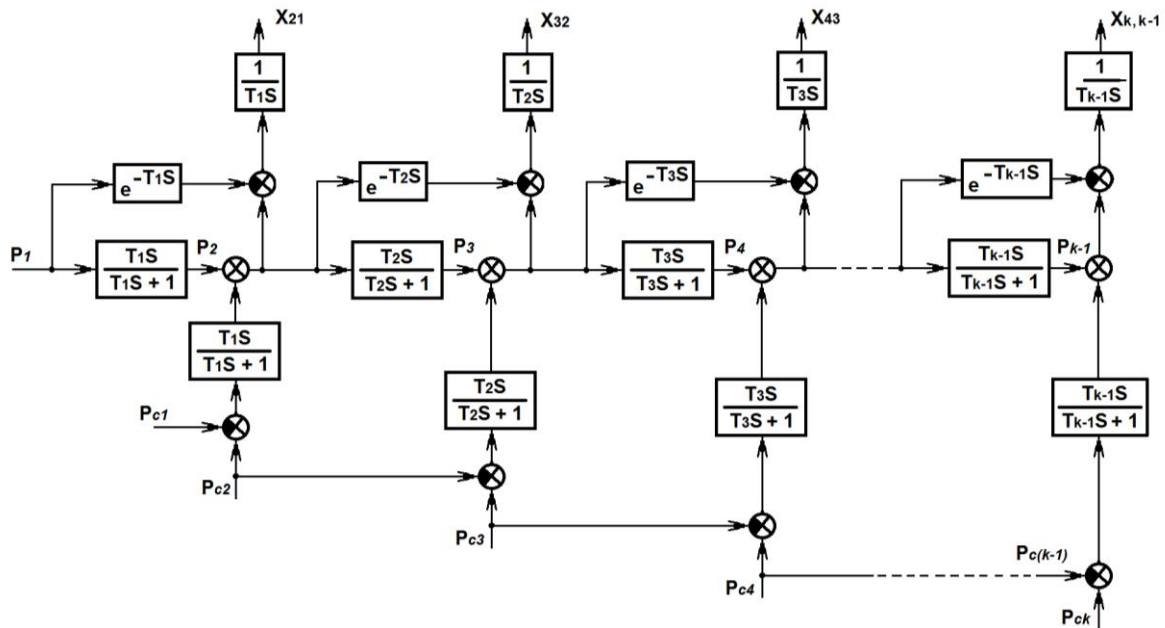


Рисунок 3– Структурна схема моделі НІС при зміні віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії

За структурною схемою рис. 4. запишемо залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії припустивши взаємну впливовість новоутворених підсистем

$$X_{k, k-1}(S) = \left[\frac{1}{T_1 S + 1} \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} \right) - \frac{1}{T_1 S + 1} \right] P_{k-1}(S). \quad (9)$$

Цю залежність можна розділити на дві складові. Перша складова, яка визначається виразом

$$\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S}, \quad (10)$$

за наявності ступеневої взаємодії управляючої дії буде мати затухаючий характер. Друга складова, яка визначається виразом

$$- \frac{1}{T_1 S + 1} \quad (11)$$

має кінцеве значення (тільки зворотнього знаку).

Для прикладу, за структурною схемою рис. 2 запишемо залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії на другому рівні ієрархії

$$X_{32}(S) = \left[\frac{1}{T_1 S + 1} \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} - 1 \right) \right] P_{ck2}(S), \quad (12)$$

$$X_{43}(S) = \left[\left(\frac{1}{(T_1 S + 1)^2} - \frac{1}{T_1 S + 1} \right) \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} \right) \right] P_{ck2}(S),$$

$$X_{54}(S) = \left[\left(\frac{1}{(T_1 S + 1)^3} - \frac{1}{(T_1 S + 1)^2} \right) \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} \right) \right] P_{ck2}(S),$$

$$X_{k, k-1}(S) = \left[\left(\frac{1}{(T_1 S + 1)^{k-2}} - \frac{1}{(T_1 S + 1)^{k-3}} \right) \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} \right) \right] P_{ck2}(S). \quad (13)$$

Якщо в отриманих залежностях (12) оператор S вважати рівним нулю, то отримаємо залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії в усталеному режимі $X_{32} = -P_{c2}$, а всі інші зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії $X_{43}, X_{54}, \dots, X_{k, k-1} = 0$.

Таким чином, обґрунтовано, що взаємна впливовість в усталеному режимі не впливає на зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії на наступних рівнях ієрархії НІС, починаючи з третьої. Чим далі розташований ієрархічний рівень від місця прийняття УР, тим менший, відповідно до (13) вплив регіональних елементів НІС один на одного (надалі будемо оперувати терміном «взаємо впливовості» елементів).

Підкреслимо, що найбільший вплив взаємо впливовості елементів НІС (як підсистем чи складних елементів НІС) – на першому (найнижчому) ієрархічному рівні. Це є недоліком при прийнятті оптимального УР.

Безпосередня регулююча дія «суб'єкта» управління на зміну віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворення лінійного зв'язку на нелінійний) створюється тому, що зміна і в без того слабо структурованій НІС викликає стрибкоподібну реакцію «об'єкта» управління. Тобто взаємо впливовість губиться і прийняте управляюче рішення має затримку на час T_1 .

Зазначимо, що при цьому повністю зберігається попередня управляюча дія «суб'єкта» на «об'єкт», оскільки змінюється відстань між елементами НІС за рахунок новоутвореного нелінійного зв'язку (в переважній більшості випадків – він є коротшим).

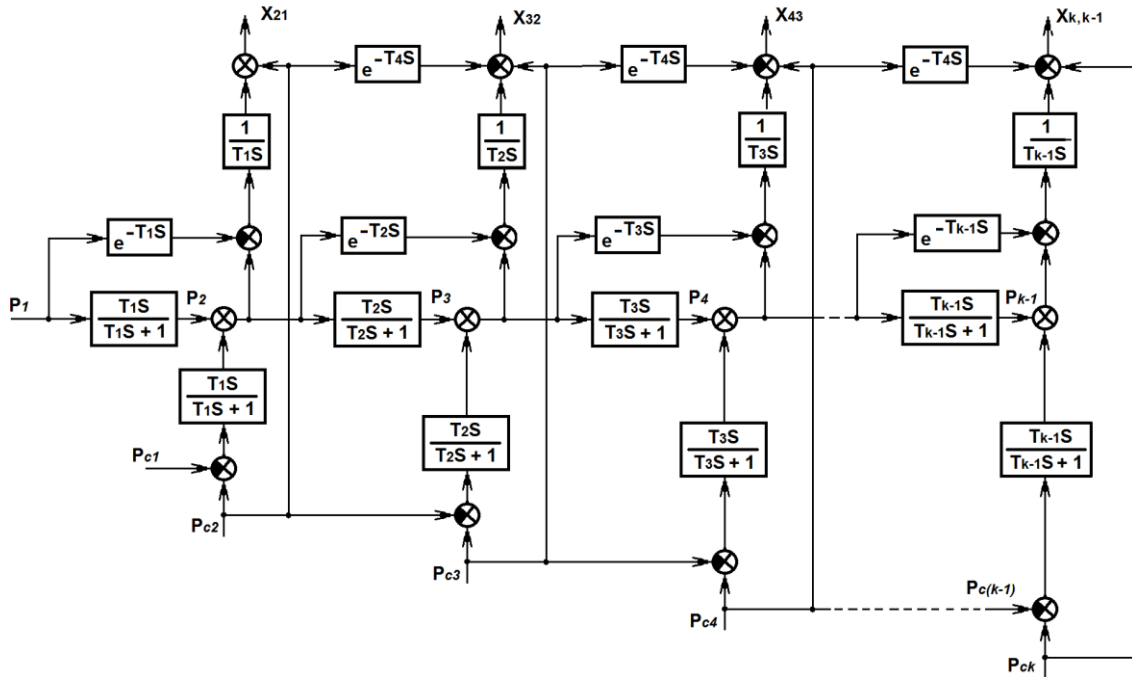


Рисунок 4– Структурна схема моделі НІС при зміні віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управляючої дії при взаємній впливовості новоутворених підсистем

Враховуючи вищесказане

$$X_{k, k-1}(S) = \left(1 + \frac{1}{T_1 S + 1} \right) P_{ck}(S). \quad (14)$$

Після перетворень

$$X_{k, k-1}(S) = \frac{T_1 S + 2}{T_1 S + 1} P_{ck}(S). \quad (15)$$

Звідси робимо висновок, що процес зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управляючої дії є своєрідним «форсуючим» об’єктом.

Залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управляючої дії на довільному рівні ієрархії (ієрархічної структури) НІС, що прикладена до попередньої, отримаємо з рівняння (9), врахувавши вище згадане запізнення

$$X_{k, k-1}(S) = \left[\frac{1}{T_1 S + 1} \left(\frac{1}{T_1 S + 1} - e^{-T_1 S} - 1 \right) + e^{-T_1 S} \right] P_{c(k-1)}(S). \quad (16)$$

Якщо в рівняннях (15) та (16) оператор S прирівняти до нуля, то отримаємо залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управляючої дії в сталому режимі

$$X_{k, k-1} = 2 P_{ck}, \quad X_{1k, k-1} = 0 P_{c(k-1)}. \quad (17)$$

Таким чином, в сталому режимі взаємо впливовість, не впливає на зміну віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії на наступному (вищому) рівні ієрархії НІС, що є перевагою цього методу для прийняття оптимального УР.

На підставі (14) та (16) побудовано структурну схему моделі зміни віддаленості елементів системи одна від одної. Побудована схема стала базовою для цифрового моделювання процесу самого процесу зміни віддаленості елементів системи одна від одної від управляючої дії та подальшого розрахунку параметрів управління НІС в ДУ та МС.

Запишемо залежність зміни віддаленості елементів системи одна від одної для довільного ієрархічного рівня НІС

$$X_{k, k-1}(S) = P_{Fck}(S), \quad (18)$$

де P_{Fck} – УР, що враховує зміну віддаленості між елементами НІС.

Звідси робимо висновок, що процес зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії на попередньому ієрархічному рівні НІС

$$X_{k, k-1}(S) = e^{-T_k S} P_{Fc(k-1)}(S). \quad (19)$$

Взаємна регулююча управлінська дія ЛПП впливає на зміну часу проходження УР на віддалені елементи НІС, розташування один від одного, від управляючої дії на наступний ієрархічний рівень НІС з часом запізнення T_k . Це запізнення обумовлене часом проходження управлінської інформації до наступного ієрархічного рівня.

Підкреслимо, що взаємо впливовість складних елементів (як підсистем) в НІС діє на зміну їх віддаленості один від одного. На основі (18) та (19) запишемо систему рівнянь, що описує залежність зміни віддаленості елементів НІС від управлінської дії

$$\begin{aligned} X_{21}(S) &= P_{Fc2}(S), \\ X_{32}(S) &= P_{Fc3}(S) + e^{-T_1 S} P_{Fc2}(S), \\ X_{43}(S) &= P_{Fc4}(S) + e^{-T_1 S} P_{Fc3}(S), \\ X_{k, k-1}(S) &= P_{Fck}(S) + e^{-T_1 S} P_{Fc(k-1)}(S). \end{aligned} \quad (20)$$

На підставі системи рівнянь (20) побудовано структурну схему моделі підсистеми НІС (рис. 5), де координуюча дія ЛПП створюється при використанні відомих алгоритмів ПУР. З аналізу (20) випливає, що процес зміни віддаленості

елементів системи один від одного – безінерційний об’єкт, що є перевагою способу прийняття УР для даної НІС. Процес зміни віддаленості елементів системи одна від одної (з перетворенням лінійного зв’язку на нелінійний) від управлінської дії – об’єкт із запізненням, обумовленим часом проходження управлінської інформації, що є недоліком цього способу прийняття оптимальних УР.

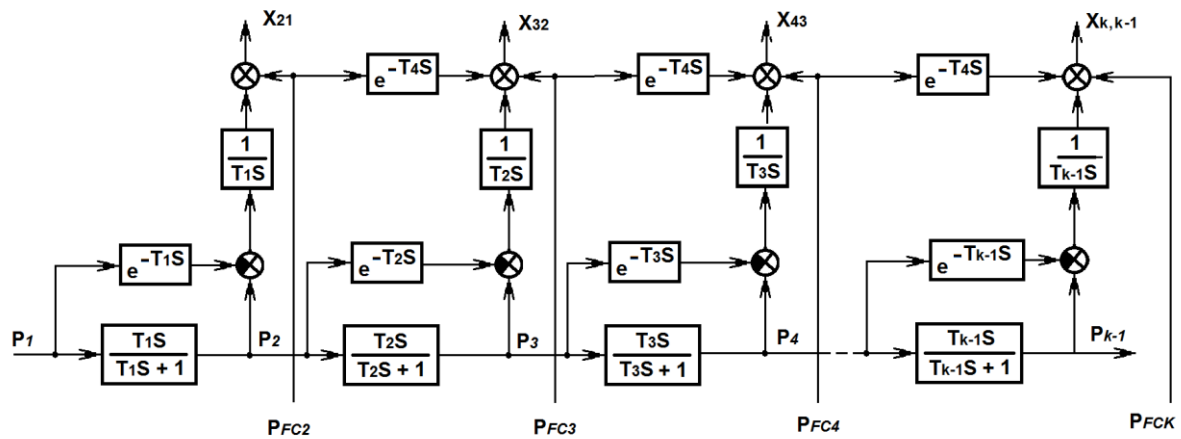


Рисунок 5– Структурна схема моделі підсистеми НІС, де координуюча дія ЛПР створюється при використанні відомих алгоритмів ПУР

Підкреслимо, що взаємо впливовість впливає не тільки на сусідні ієрархічні рівні, що свідчить недолік даного методу прийняття УР. З проведеного аналізу процесу зміни віддаленості елементів системи одна від одної (враховуючи перетворення лінійного зв’язку на нелінійний) від управлінської дії можна зробити наступний висновок – процес зміни є інерційним об’єктом першого порядку. Недоліком цього є значна інерційність і великий взаємний вплив УР при зміні відстані між ієрархічними елементами НІС для проходження інформації на наступних ієрархічних рівнях. Процес зміни є в т. ч. «форсуючим» об’єктом управління. Взаємо впливовість діє на таку зміну у перехідних періодах.

Основною перевагою цього підходу до прийняття УР є достатньо висока швидкодія, незважаючи на наявність запізнення надходження інформації про стан досліджуваних процесів. Ще однією перевагою є простота реалізації.

Підкреслимо, що найбільш універсальним і гнучким способом прийняття УР є комбінований. Зазначимо також, що для поліпшення управлінських процесів в НІС в ДУ потрібно враховувати і компенсувати взаємо впливовість елементів досліджуваної структури.

Оскільки отримання експериментальних даних має ряд об'єктивних причин, то свого часу було вирішено провести моделювання процесів управління НІС в ДУ та в органах місцевого самоврядування на ПК. Цифрове моделювання управлінських процесів в НІС в ДУ та МС, а також програмна реалізація комп'ютерної підтримки прийняття оптимальних управлінських рішень при моделюванні можливих ситуацій в системах з нелінійними зв'язками частково нами апробовано при ПУР в державних структурах та в органах місцевого самоврядування у Львівській та Дніпропетровській областях [14-17] (апробацію підтверджено актами впровадження у 2003-2015рр.).

На даний час побудовано нові математичні моделі, що описують процес зміни віддаленості елементів один від одного в НІС в ДУ від управлінської дії, який є багатомірним взаємозв'язаним об'єктом управління. Регульованою величиною є зміна проходження інформації та зміна віддаленості самих підсистем (як складних елементів) НІС.

Основні завдання моделювання:

- дослідження впливу стрибкоподібних явищ на зміну віддаленості елементів системи один від одного (з перетворенням лінійного зв'язку на нелінійний) від управлінської дії;
- аналіз результатів моделювання.

У статті використано структурний метод цифрового моделювання на ПК з використанням останніх версій програмних комплексів «Салют – 2» та «Прорив – 3» [9, 10], а також програми оцінювання ризику переростання конфліктної ситуації у збройний конфлікт (програмний комплекс М-7) [19], які дозволяють подати процес зміни віддаленості елементів системи один від одного від управляючої дії у природному базисі, а також перевірити результати досліджень на еластичність. Особливість моделювання процесу зміни віддаленості елементів системи один від одного від управлінської дії в тому, що він описується диференціальними рівняннями із зміщеним аргументом, який обумовлений часом розвитку подій.

Перевага структурного методу моделювання полягає в тому, що відповідний апарат здійснює автоматично побудову та розв'язок диференціальних рівнянь і рівнянь із зміщеним аргументом усіх змінних моделі в перехідних процесах (соціальних, політичних, економічних та ін.).

Опис основних елементів структурних моделей НІС і програм виконано на алгоритмічних мовах високого рівня Turbo Pascal, Delphi, C++, Java, JavaScript. Опис має певну точність, де дії ЛПП та операції, що виконуються нею (як опе-

рації чисельного інтегрування) здійснюються з використанням наближених формул [10, 11, 17, 18].

Процедури мов програмування на ПК поділяються на три основні підгрупи:

- I) початкові – встановлюють тривалість nT моделювання, величину кроку H моделювання та початкові значення всіх змінних, коефіцієнтів та сталу часу T_1 ;
- II) представляючі – здійснюють представлення елементів НІС та структурної моделі процесу зміни віддаленості елементів підсистем одна від одної (при перетворенні лінійного зв'язку на нелінійний) від управляючої дії на необхідних мовах програмування;
- III) управляючі – виконують дії в програмі і задають формати вхідних і вихідних даних.

Результати цифрового моделювання на ПК плануємо отримати у вигляді таблиць і графіків. У статті ж подані тільки графіки зміни цих процесів. Стала часу ПУР – T_1 нормована для окремо взятої задачі.

Основними збуреннями є зовнішні чинники. Зміна віддаленості елементів один від одного (при перетворенні лінійного зв'язку у нелінійний) від управлінської дії описується системою рівнянь (7), якій відповідає структурна схема рис. 2. Якщо у цій структурній схемі прийняти, що $P_{ск} = 0$, відповідно $= 0$ або застосувати відповідний вираз

$$\frac{T_1 s}{T_1 s + 1} = 0 \quad (21)$$

то отримаємо блок-схему моделі процесу зміни віддаленості елементів структури нової НІС (при перетворенні лінійного зв'язку у нелінійний) від управляючої дії за наявності основного збурення – стрибкоподібного відхилення, яке описується катастрофою типу «скрутка», викликані збурюючі мичинниками.

Підкреслимо, що для моделювання досліджуваних процесів у структурній схемі (рис.6) введено додаткові компенсуючі ланки затримки e^{-Ts} . Крім того, введено додаткові позначення проміжних змінних, які необхідні для складання програми цифрового моделювання.

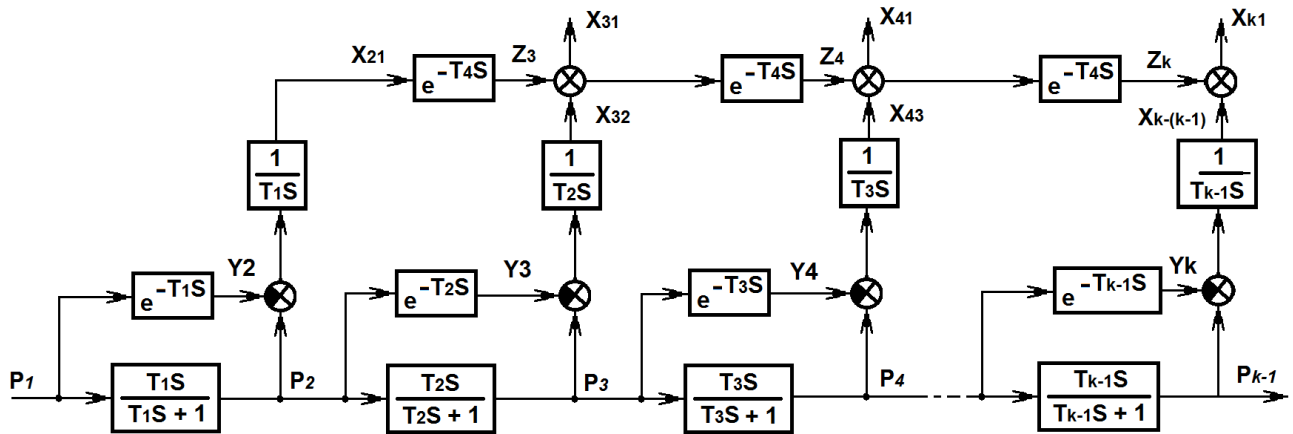


Рисунок 6– Структурна схема моделі підсистеми НІС, при введенні додаткових компенсуючих ланок затримки e^{-TS} .

Відповідно до прийнятих позначень (рис.6) запишемо основні процедури моделювання процесу зміни віддаленості елементів підсистеми одна від одної при перетворенні лінійних зв'язків у нелінійні від управляючої дії:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 1, \\
 P_2 &= P_2 + (P_1 - P_2) \times H/T_1, \\
 P_3 &= P_3 + (P_2 - P_3) \times H/T_1, \\
 P_4 &= P_4 + (P_3 - P_4) \times H/T_1, \\
 P_5 &= P_5 + (P_4 - P_5) \times H/T_1, \\
 Y_2 &= P_1 \times (t - T_1), \\
 Y_3 &= P_2 \times (t - T_1), \\
 Y_4 &= P_3 \times (t - T_1), \\
 Y_5 &= P_4 \times (t - T_1), \\
 X_2 &= X_2 + (P_2 - Y_2) \times H/T_1, \\
 X_3 &= X_3 + (P_3 - Y_3) \times H/T_1, \\
 X_4 &= X_4 + (P_4 - Y_4) \times H/T_1, \\
 X_5 &= X_5 + (P_5 - Y_5) \times H/T_1, \\
 Z_3 &= X_{21} \times (t - T_1), \\
 X_{31} &= X_3 + Z_3, \\
 Z_4 &= X_{31} \times (t - T_1), \\
 X_{41} &= X_4 + Z_4, \\
 Z_5 &= X_{41} \times (t - T_1), \\
 X_{51} &= X_5 + Z_5,
 \end{aligned}$$

де T_1 – стала часу ПУР (для задачі N);

Н – крок моделювання.

Зазначимо, що відповідні підпрограми $Y_1 = P_i \times (t - T_1)$ та $Z_i = X_i \times (t - T_1)$ записані умовно. Для них складені окремі підпрограми, які організують масиви і затримку проходження інформації на час T_1 і їх наступну видачу (представлення). Ступенева дія L_1 викликає зміну нестабільного (пружного) стану на всіх сходинках ієрархії НІС. Така зміна стану викликає, в свою чергу, зміну комунікативних зв'язків між всіма наступними ієрархічними рівнями.

На рис.7 зображено графіки процесу зміни попереднього стану НІС на всіх рівнях ієрархічної структури НС

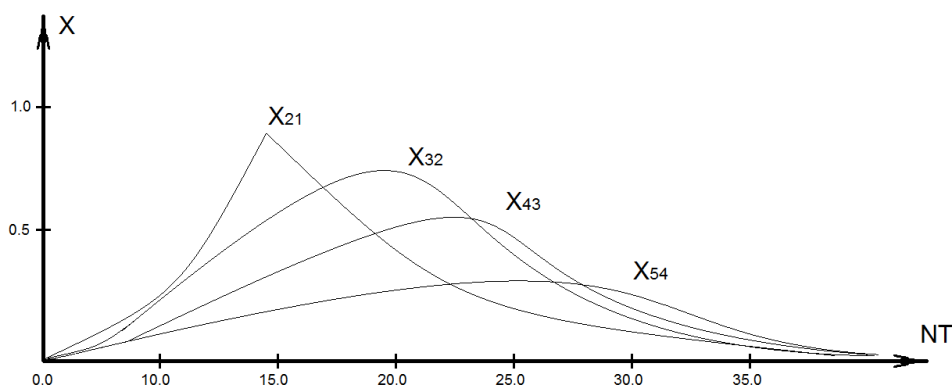


Рисунок 7 – Графіки зміни попереднього стану НІС на всіх рівнях ієрархічної структури НС в ДУ

Ступенева дія Nn викликає зміну попереднього стану на всіх рівнях ієрархічної структури НІС. Зміна такого стану може викликати резонансні явища. НІС в ДУ та МС у такому випадку стане складно управляємою.

З результатів моделювання робимо висновок, що процес зміни зв'язків в структурі (з лінійного на нелінійний) та зміна часу надходження управлінської інформації до об'єкту управління відносно основного збурення – це особливий своєрідний інерційний об'єкт із запізненням і варіативними властивостями, які проявляються в тому, що після закінчення перехідного стану така зміна в структурі прямує до нуля.

Таким чином, для отримання оригінального, оптимального управлінського рішення в ДУ та МС необхідно розробити для особи, що приймає такі рішення новий інструментарій, який використовує сучасні/новітні інформаційні технології.

Висновки

1. Розроблено математичні моделі процесу зміни віддаленості елементів НІС в ДУ та МС, у яких можуть виникати резонансні явища, що робить систему складно управляємою.

2. Процес зміни зв'язків в структурі НІС ДУ/МС та зміна часу надходження управлінської інформації до об'єкту управління відносно основного збурення – це особливий своєрідний інерційний об'єкт із запізненням і варіативними властивостями, що характеризується прямуванням до нуля змін в структурі НІС в ДУ та МС.

Наукова новизна

Запропоновано розробити новий інструментарій для отримання оптимальних управлінських рішень в публічному управлінні / державному управлінні (ДУ) та місцевому самоврядуванні (МС) / з використанням новітніх інформаційних технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Арзуманян Р. (2004) Метафора нелинейности в социальных системах. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-256425.html?page=3>.
2. Арзуманян Рачья. Сложное мышление и сеть: парадигма нелинейности и среда безопасности 21 века. – Ереван: НОФ «Нораванк». – 2011. – 496 с.
3. Arzumanyan H. (2015) Irregular war strategy: theory and practical application. Theoretic and strategic problems of conceptualization, religious and political-military relations in operational environment of irregular warfare. (ed.A. Mikhailovsky), (Series: New strategy, 4), Moscow: Center for Strategic Assessment and Forecast. (in Russian). Available at: <http://csef.ru/media/articles/6094/6094.pdf> (accessed 21 October 2015).
4. Горбулин В. Как победить Россию в войне будущего. – К: Брайт Букс, 2020. – 256 с.
5. Гунько Л.В. Парадигма нелінійності і агресія російської федерації проти України / Демократичне врядування. Вип. 2 (30). – 2022. – С. 109-119.
6. Загорський В., Синетика і теорія управління соціально-економічними системами [Електрон. ресурс] / Загорський В., Ліпенцев А., Кореновський А. – Режим доступу: // <http://www.lvivacademy.com/visnik8/fail/Zagorskyj.pdf>
7. Карпенко І.В. Особливості застосування критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності [Текст] / І. В. Карпенко, І. В. Павленко // Економічні проблеми сталого розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конфере-

нції, м. Суми, 27 травня 2015р. / За заг. ред.: О. В. Прокопенко, М. М. Петрушенка. - Суми: СумДУ, 2015. - С. 353-355.

8. Линьов К.О. Централізація, децентралізація та нелінійність у державному управлінні: автореф. дис. ... канд. наук з держ. упр.: 25.00.02 / Линьов Костянтин Олександрович; Нац. акад. держ. упр. при Президентові України. – К., 2004. – 20 с.

9. Тронь В.П. Стратегія прориву: Монографія. – К.: В-во УАДУ при Президентові України. 1995. – 344 с.

10. Тронь В.П. Проблеми моделювання потоків ієрархічних рішень / Управління сучасним містом № 4-6 (2). – 2001. – С. 21-42.

11. Тронь В.П. Теоретичне обґрунтування і програмна реалізація стратегії комп'ютерної підтримки прийняття індивідуумом оптимальних рішень при моделюванні довільних ситуацій. [Текст]: автореф. дис. д-ра держ. управління: 25.00.03 / Тронь Віталій Панасович; Українська академія держ. управління при Президентові України. –К., 1997. - 42 с.

12. Шульжик Ю.О. Управління нелінійними ієрархічними структурами: до постановки проблеми / Соціально-економічна ефективність державного управління: теорія, методологія та практика: Матеріали наук.-практ. конф. – Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2003. Ч.1. – С. 330-338.

13. Шульжик Ю.О. Побудова експертних систем прогнозування наслідків при малопрогнозованому розвитку об'єктів управління з нелінійними зв'язками. / Актуальні проблеми державного управління: Збірник наук. праць Дніпропетровського РІДУ НАДУ. – Дніпропетровськ: ДРІДУ НАДУ, 2004. - № 3 (17). – С. 84 – 93.

14. Шульжик Ю.О. Моделі нелінійних ієрархічних структур в державному управлінні та теорія динамічних систем. Актуальні проблеми державного управління Збірник наук. праць Одеського РІДУ НАДУ. – Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2004. - № 2 (18). – 301 с. \ - С. 70 - 79.

15. Шульжик Ю. О. Проблема прогнозування динаміки одно- та різнотипних об'єктів з нелінійними зв'язками. / Наукові праці МАУП. Вип 2 (14) – К.: МАУП. – 2006. – С. 69-74.

16. Шульжик Ю.О. Проблемні аспекти підтримання надійних зв'язків в нелінійних ієрархічних структурах. / Ефективність державного управління в контексті Європейської інтеграції: Матеріали наук.-практ. конф. – Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2004. – С. 147-152.

17. Шульжик Ю.О. Теорія абстрактних властивостей в системі управління не-лінійними ієрархічними структурами в державному управлінні. Внутрішня політика держави: сутність, принципи, методологія. Матеріали наук.-практ. конф. – Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2005. – С. 103 – 105.
18. Ігнаткін В.У. Автоматизація розв'язування задач оптимізації параметрів систем метрологічного обслуговування вимірювальних засобів автоматизованих технологічних процесів та їх безпека. / Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології». System technologies. – Дніпро: УДУ НіТ, № 6 (137). – 2021. – С. 114-133.
19. Богданович В.Ю. Теоретико-методологічні засади забезпечення національної безпеки держави у її визначальних сферах [Текст] : [монографія] / В. Ю. Богданович [та ін.]. – К.: В-во «Кий», 2007. – 369 с.
20. Половцев О.В. Аналіз, економетричне моделювання та прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 / Половцев Олег Валентинович, Херсонський державний технічний університет. – Херсон, 1999. – 18 с.
21. Акулов С.О. Моніторинг рівня конфліктного потенціалу та управління процесами його деескалації в операції по підтримці миру. автореф. дис. ... канд. військ. наук: 21.02.01 / Акулов Сергій Олександрович; НАВС України. – К., 2004. – 20 с.

REFERENCES

1. Arzumanyan R. (2004) Metaphor of nonlinearity in social systems. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-256425.html?page=3>.
2. Arzumanyan Rachya. Complex thinking and the network: the paradigm of non-linearity and the security environment of the 21st century. - Yerevan: NOF "Noravank". - 2011. - 496 p.
3. Arzumanian H. (2015) Irregular war strategy: theory and practical application. Theoretical and strategic problems of conceptualization, religious and political-military relations in the operational environment of irregular warfare. (ed. A. Mikhailovsky), (Series: New strategy, 4), Moscow: Center for Strategic Assessment and Forecast. (in Russian). Available at: <http://csef.ru/media/articles/6094/6094.pdf> (accessed October 21, 2015).
4. Horbulin V. How to defeat Russia in the war of the future. -- K: Bright Books, 2020. - 256 p.
5. Gunko L.V. Paradigm of non-linearity and aggression of the Russian Federation against Ukraine / Democratic governance. Vol. 2 (30). – 2022. – P. 109-119.

6. V. Zahorskyi, Synetics and the theory of management of socio-economic systems [Electron. resource] / Zagorskyi V., Lipentsev A., Korenovskyi A. – Access mode: // <http://www.lvivacademy.com/visnik8/fail/Zagorskyj.pdf>
7. I. V. Karpenko Peculiarities of the application of decision-making criteria in conditions of uncertainty [Text] / I. V. Karpenko, I. V. Pavlenko // Economic problems of sustainable development: materials of the International Scientific and Practical Conference, Sumy, May 27 2015 / In general ed.: O. V. Prokopenko, M. M. Petrushenko. - Sumy: Sumy State University, 2015. - P. 353-355.
8. Lin'ev K. O. Centralization, decentralization and non-linearity in state administration: autoref. thesis ... candidate sciences from state edited: 25.00.02 / Kostyantyn Oleksandrovych Lin'ev; National Acad. state example under the President of Ukraine. - K., 2004. - 20 p.
9. Trony V. P. Breakthrough strategy: Monograph. - K.: Deputy Head of the Ukrainian Academy of Sciences under the President of Ukraine. 1995. – 344 p.
10. Trony V.P. Problems of modeling flows of hierarchical decisions / Management of the modern city No. 4-6 (2). - 2001. - P. 21-42.
11. Trony V. P. Theoretical justification and software implementation of the strategy of computer support for making optimal decisions by an individual in the simulation of arbitrary situations. [Text]: autoref. thesis Dr. State Management: 25.00.03 / Vitaliy Panasovych Throne; State Ukrainian Academy administration under the President of Ukraine. -K., 1997. - 42 p.
12. Shulzhyk Yu.O. Management of non-linear hierarchical structures: before the problem statement / Socio-economic efficiency of state administration: theory, methodology and practice: Scientific-practical materials. conf. - Lviv: LRIDU NADU, 2003. Part 1. - P. 330-338.
13. Shulzhyk Yu.O. Construction of expert systems for forecasting the consequences of poorly predicted development of management objects with non-linear connections. / Actual problems of public administration: Collection of sciences. works of the Dnipropetrovsk RID NADU. – Dnipropetrovsk: DRIDU NADU, 2004. - No. 3 (17). - P. 84 - 93.
14. Shulzhyk Y.O. Models of non-linear hierarchical structures in public administration and the theory of dynamic systems. Actual problems of state administration Collection of sciences. Proceedings of the Odesa Order of NADU. – Odesa: ORIDU NADU, 2004. - No. 2 (18). - 301 p. \ - P. 70 - 79.

15. Shulzhyk Y.O. The problem of forecasting the dynamics of the same and different types of objects with nonlinear connections. / Scientific works of MAUP. Issue 2 (14) - K.: MAUP. - 2006. - P. 69-74.
16. Shulzhyk Yu.O. Problematic aspects of maintaining reliable connections in non-linear hierarchical structures. / Effectiveness of public administration in the context of European integration: Scientific and practical materials. conf. - Lviv: LRIDU NADU, 2004. - P. 147-152.
17. Shulzhyk Yu.O. Theory of abstract properties in the management system of non-linear hierarchical structures in public administration. Internal policy of the state: essence, principles, methodology. Scientific and practical materials. conf. - Lviv: LRIDU NADU, 2005. - P. 103 - 105.
18. Ignatkin V.U. Automation of solving problems of optimizing the parameters of metrological service systems of measuring devices of automated technological processes and their safety. / Regional interuniversity collection of scientific papers "System Technologies". System technologies. - Dnipro: USU NiT, No. 6 (137). - 2021. - P. 114-133.
19. Bogdanovich V.Yu. Theoretical and methodological principles of ensuring national security of the state in its defining spheres [Text]: [monograph] / V.Yu. Bogdanovich [et al.]. - K.: V-vo "Kiy", 2007. - 369 p.
20. Polovtsev O.V. Analysis, econometric modeling and optimal decision-making under conditions of uncertainty: autoref. thesis for obtaining sciences. degree of Candidate of Technical Sciences by specialty 05.13.06 / Oleg Valentinovych Polovtsev, Kherson State Technical University. - Kherson, 1999. - 18 p.
21. Akulov S.O. Monitoring the level of conflict potential and managing its de-escalation processes in peacekeeping operations. autoref. thesis ... candidate troops Sciences: 21.02.01 / Akulov Serhii Oleksandrovych; Naval Forces of Ukraine. - K., 2004. - 20 p.

Received 06.12.2023.

Accepted 13.12.2023.

Mathematical modeling of transient processes in hierarchical structures of public administration with nonlinear characteristics

The last decades are characterized by a large number of studies of state and public figures, which can be called an era of deep (fundamental) and rapid changes. Society is experiencing qualitative changes and serious challenges, therefore there is a kind of paradox when the imperatives of a new era force the development of a theoretical basis in

the semantic field of common sense, which is associated with permanence and qualitative changes in political, economic and social life [1, 2, 3].

In state administration and local self-government bodies, relations between people, rapid unpredictable changes in the situation in the country and in regions (political, economic, social, etc.) are non-linear management systems. Moreover, any physical system when examined in more detail is always nonlinear. The effectiveness of managing a nonlinear system, taking into account disturbing factors, depends on the accuracy of forecasting the dynamics of changes in individual elements of such a system. This is a multifaceted problem [15].

A characteristic feature of non-linear hierarchical structures (NIS) in the public service (state administration - DU and local self-government - MS) is a continuous and discrete change in the processes of development of events, which distinguishes them from other internal and external influences, such as those that cause the transformation of linear communication into non-linear, which ultimately leads to new changes. This is the first thing.

Second, subject-object relationships can have uncoordinated actions caused by real-world circumstances. Such uncoordinated actions can occur even more in transitional processes of society (for example, the speed of their flow) due to the inertia of individual elements or the social system itself as a whole. As a result of these phenomena, the linear relationship between discrete changes is broken and the previous hierarchical structure changes, which leads to non-linear information relationships in the state administration (SU) and local self-government bodies (MS). For example, G. Pocheptsov and other scientists associate this nonlinearity with chaos, the growing complexity of social processes, globalization, with a threat to state security, with the manifestation of unpredictability and instability [1-5].

Strict requirements are imposed on the management process in the new state of DU and MS:

- resilience of the management system;*
- the system should be described as continuous-discrete (its dynamics);*
- the management process must ensure the necessary accuracy of matching the indicators of the new state of the system with the previous one.*

A number of problems appear in newly formed non-linear hierarchical structures (NIS) in DU and MS:

- lack of a priori information about processes with non-linear connections;*
- inaccuracy of structural identification;*
- inaccuracy in the choice of criteria for assessing the situation;*

- *restructuring processes;*
- *wrong choice of states of nature;*
- *incorrect determination of the importance of the selected criteria according to the scale of importance;*
- *incorrectly chosen dependence of alternatives on the criterion;*
- *insufficient degree of awareness of the complexity of the situation.*

Solving the above problems requires experimental research.

If the process of stabilization of the NIS in the DU is considered as an object of regulation, then it is enough to establish the dependence of this stability on the control action and the main disturbance, and all other actions are considered as disturbances on the object of study. Such a description will reflect the main dynamic characteristics of such a process and will be sufficient for the synthesis and development of an optimal regulation system with the aim of achieving stable (stable) processes in such systems (including DU and MS).

In the future, we will approach the DU as a non-linear hierarchical system (NHS) and depict the NIS as a multidimensional continuous system, in which the state of nature is the regulated quantity, and the input is the action of managers in the DU and MS (management decisions made by them - PUR) regarding regulation, coordination and perturbations acting on the system.

Key words: public administration, local self-government, non-linear hierarchical system, management decision, mathematical modeling.

Ігнаткін Валерій Устинович - доктор технічних наук, професор, в.о. зав. кафедри менеджменту організацій, економіки та підприємництва Прикарпатського інституту ім. М. Грушевського ПрАТ «ВНЗ Міжрегіональна Академія управління персоналом», м. Трускавець. <https://orcid.org/0000-0002-3332-1105>.

Шульжик Юрій Олександрович - кандидат технічних наук, професор кафедри менеджменту організацій, економіки та підприємництва Прикарпатського інституту ім. М. Грушевського ПрАТ «ВНЗ Міжрегіональна Академія управління персоналом», м. Трускавець, <https://orcid.org/0000-0003-1699-054X>.

Дудніков Володимир Степанович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механотроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>; старший науковий співробітник Інституту транспортних систем і технологій НАН України.

Юшкевич Олег Павлович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механотроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, <https://orcid.org/0000-0002-7199-8424>.

Ignatkin Valery Ustinovich - doctor of technical sciences, professor, acting chief Department of Management of Organizations, Economics and Entrepreneurship of the Prykarpattia Institute named after M. Hrushevsky PJSC "University Interregional Academy of Personnel Management", Truskavets. <https://orcid.org/0000-0002-3332-1105>.

Shulzhyk Yury Oleksandrovich - candidate of technical sciences, professor of the Department of Organizational Management, Economics and Entrepreneurship of the Prykarpattia Institute named after M. Hrushevsky PJSC "Interregional Academy of Personnel Management University", Truskavets, <https://orcid.org/0000-0003-1699-054X>.

Dudnikov Volodymyr Stepanovych - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechatronics, Dnipro National University named after Oles Honchar, <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>; senior researcher at the Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Yushkevych Oleh Pavlovich - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechatronics of Dnipro National University named after Oles Honchar. , <https://orcid.org/0000-0002-7199-8424>.