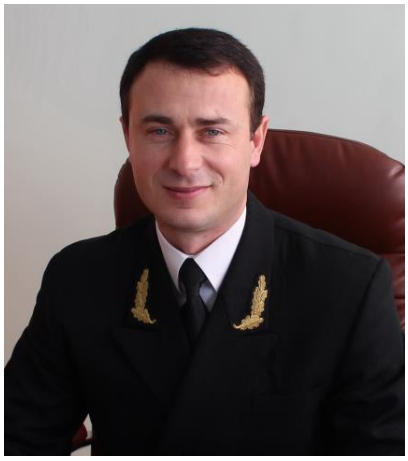


Валентин ЧИМШИР

Доктор технічних наук, професор, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія».
В Ізмаїльському державному гуманітарному університеті навчався з 1994 по 1998 рр.
Автор 137 наукових праць.
Сфера наукових інтересів: процеси управління складними системами; управління проєктами і програмами; сучасні концепції підвищення енергоефективності суднових систем та комплексів.
***E-mail**: chimshir@ukr.net*

ОБ'ЄДНАННЯ ТИМЧАСОВИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

У роботі представлено дослідження можливостей складання тимчасових процесів для зменшення складних витрат на експлуатацію системи. Встановлено, що часові процеси класифікуються на три категорії щодо їх впливу на функціональний стан системи. Вони бувають одиничні (1), повторювані (2) та циклічні (3). Доведено, що наявність значної кількості тимчасових процесів у системі вимагає індивідуального підходу до їх контролю.

Ключові слова: *часові процеси, складна система, життєвий цикл, витрати, оптимізація, відновлення, прогноз, часовий проміжок.*

Поява нових технологій у галузі обробки інформації дозволила відкрити нові можливості для віднайдення новітніх методів оптимізації процесів у життєвому циклі складних систем. Одним із таких завдань є оптимальне об'єднання тимчасових процесів у складних системах.

Складна система в процесі свого життєвого циклу об'єднує безліч тимчасових процесів і може стосовно них знаходитись у двох протилежних станах: штатному та позаштатному. Під штатним станом розуміємо всю сукупність станів, у яких система виконує функції основного свого призначення. Відповідно, позаштатний стан системи характеризується станом, у якому система не може виконувати частини або всіх своїх функцій, пов'язаних із основним її призначенням.

У пропонованому дослідженні буде розглянуто тимчасові процеси, спрямовані на повернення системи з позаштатного стану до штатного.

Як правило, при дослідженні складних систем виникає проблема невизначеності ряду її станів. Невизначеність характеризує стан системи щодо ідеальних умов її функціонування. Є. А. Кузьмін (*Кузьмин, 2012*) розглядає систематизовані аспекти невизначеності щодо складних систем, серед яких інформаційна складова відіграє ключову роль. Відтак міра невизначеності відіграє ключову роль при отриманні результатів моделювання станів системи.

Якщо за основу оптимізації взяти зниження витрат на відновлення функціонального стану складних систем шляхом об'єднання тимчасових процесів, то первинні завдання можна визначити таким чином:

1. Класифікація тимчасових процесів за ознакою їх впливу на функціональний стан системи і витрати на його відновлення.

2. Визначення параметрів, що впливають на об'єднання тимчасових процесів.
3. Розроблення методу об'єднання тимчасових процесів.
4. Розроблення алгоритму об'єднання тимчасових процесів.

Аналізуючи висновки багатьох науковців, які присвятили свої праці дослідженню тимчасових процесів, можна відзначити, що тимчасові процеси представлені послідовністю запланованих подій на певному рівні управління системою, що характеризуються низкою параметрів: структурованістю, тривалістю, швидкістю. Слабко керовані тимчасові процеси можуть породжувати нові процеси, які потребують окремого управління.

Тимчасові процеси, відповідно до їх появи у життєвому циклі системи, можна розділити на три класи: одиночні, повторювальні та циклічні.

Одиночні процеси життєвого циклу системи виконуються, як правило, один раз. Вони добре структуровані, можуть мати різну тривалість і, як засвідчує практика, мають середню швидкість виконання.

Повторювальні тимчасові процеси – це процеси, які не мають жорсткої періодичності, залежать від процесів зовнішнього середовища, в якому функціонує система і мають високу швидкість виконання.

Циклічні тимчасові процеси характеризуються циклічністю виконання, досить чіткою структурованістю; швидкість їх виконання варіює від низької до середньої.

Наявність великої кількості тимчасових процесів у системі вимагає окремого підходу до їх управління (*Игнатьева, 2000*). До одного з таких відноситься підхід об'єднання процесів. Характер об'єднання дуже складний і вимагає проведення обліку безлічі параметрів. Одним із основних параметрів є вибір часу об'єднання.

При виборі часу об'єднання процесів переважно керуються такими міркуваннями (*Растригин, 1981*):

- по-перше, це планові процеси, тобто по закінченню деякого часу процес повинен бути запущений незалежно від стану системи в попередній момент часу;
- по-друге, при погіршенні стану системи, яке позначається на якості її роботи, або відмови деяких її функцій, але при цьому система перебуває у працездатному стані, тобто може фактично функціонувати;
- по-третє, коли система перебуває в непрацездатному стані, тобто втрата функції системи не дозволяє продовжити функціонування.

Формалізація цієї задачі загалом передбачає опис усіх важливих факторів, які впливають на досягнення бажаного стану системи та їх взаємодія, облік обмежувальних умов і критерій оцінки якості об'єднання процесів (*Урбанович, 2007*).

Отже, метою оптимізаційної задачі і практичного, й теоретичного характеру є вибір «найкращої» (допустимої або оптимальної) конфігурації з альтернативами для досягнення певної поставленої задачі (*Кокин, 2011*).

Жодна з перелічених причин не відображає економічного аспекту з погляду оптимального вибору часу виконання тимчасового процесу. Відомо, що, розмістивши тимчасові процеси в певній послідовності в часі, можна досягти досить істотної економії коштів, призначених для функціонування системи (*Липаев, 2003*).

Із процесом функціонування системи, своєю чергою, пов'язано безліч суперечливих завдань, кожне з яких, якщо вирішити окремо, не завжди буде мати оптимальне рішення в цілому. Наприклад, розроблені Дональдом В. Стюардом (*Donald V. Steward, 1981 : 71-74*) методи доволі ефективні на етапі планування процесів і фактично не прийнятні на інших стадіях життєвого циклу складних систем.

У роботі «System's technical condition assessment method and determination of its operation timeframe in uncertainty conditions» (*Chymshyr, 2018: 182-195*) показаний інший бік зазначеного процесу. Для ефективного об'єднання тимчасових процесів важливо вміти прогнозувати час їх виникнення. У цій роботі подано ефективний метод прогнозування тимчасових процесів.

Ще один аспект, який може виникати в життєвому циклі складних систем, – це соціальних ефект. Цей ефект побічно здатний впливати на час виникнення того чи того тимчасового процесу. В роботі «Разработка метода количественной оценки социального эффекта при реализации социотехнических проектов» (*Чимшир, 2016: 56-62*) ми показуємо метод, що дозволяє кількісно оцінити соціальний ефект і спрогнозувати його вплив на тимчасові процеси системи. Науковий інтерес представляє і сам метод вибору технічної системи, розроблений нами в роботі «Method of choice of a technical system for project implementation basing upon situational efficiency criterion» (*Chimshir V., Chimshir A., 2014*), оскільки саме від неї як від складної системи залежить прогнозування часу розташування тимчасових процесів.

В окремих випадках необхідно звернути увагу на поведінку складної системи. Якщо поведінка системи нелінійна й включає в себе випадкові процеси, то можна скористатися, на наш погляд, унікальною методологією, описаною в роботі «A global method for solution of complex systems» (*Adowan, 1984: 251-263*).

Наукова стаття «Analysis and design for a class of complex control systems Part I» (*Cao S.G., Rees N.W., Feng G., 1997:1017-1028*) присвячена аналізу і проєктуванню особливого класу складних систем управління. Щодо нашого випадку, вона буде корисна для нечіткого моделювання та ідентифікації складних систем.

Як показали дослідження, вирішення задачі щодо оптимального розміщення ремонтних робіт технічного об'єкта в часі до сьогодні є відкритим.

У дисертації «Проектно-ориентированное управление жизненным циклом ремонтопригодных технических систем» (*Проектно-ориентированное управление, 2006*) пропонується рішення такого типу завдань «методом магнітів». У зв'язку з високим ступенем теоретичності цього методу пропонується вдосконалити його практичну складову.

Розглянемо таку задачу. Нехай дана деяка складна система, що складається з елементів, кожен із яких представлений групою параметрів. Однією з важливих характеристик системи є необхідність виконання нею ряду функцій, яка, своєю чергою, призводить до зміни функціонального стану системи в цілому, за результатами зміни стану кожного елементу окремо. Фактично кожна функція системи закріплена за елементом системи; у зв'язку з цим відновлення елемента системи відновлює функціональний стан системи. Під функціональним станом розуміється міра можливості системи виконувати свої функції.

Для нормального функціонування системи необхідно, щоб функціональний стан кожного елемента був більш граничним від допустимого. При досягненні граничного стану елемента системи, залежно від типу елемента, над ним повинні бути виконані відповідні дії, з якими, з одного боку, пов'язані певні витрати, з іншого боку, вони є визначальними щодо можливості подальшого функціонування системи. Оскільки передбачається, що функціонування системи визначено деяким показником ефекту (відносна величина доходу системи за одиницю часу), а зміна граничного стану елемента системи в напрямку збільшення (назвемо цей процес відновленням) вимагає виведення системи з процесу експлуатації, що зумовлює зміну показника в напрямку зменшення.

Отож, можна припустити, що існує варіант розміщення тимчасових процесів відновлення функцій системи, при якому витрати на відновлення будуть мінімальні, а ефективність функціонування системи максимальною.

Виходячи зі сказаного, сформулюємо завдання і проведемо оптимізацію на основі методу об'єднання тимчасових процесів.

Нехай є система, яка представлена такими параметрами:

T - аналізований період функціонування;

n - кількість елементів системи;

t_i - час роботи і – того елемента до граничного стану (i = 1,2, ..., n);

nr - загальна кількість зупинки системи за період Т;

q_i - вартість і – того елемента (i = 1,2, ..., n);

qr_i - вартість відновлення і – того елемента (i = 1,2, ..., n);

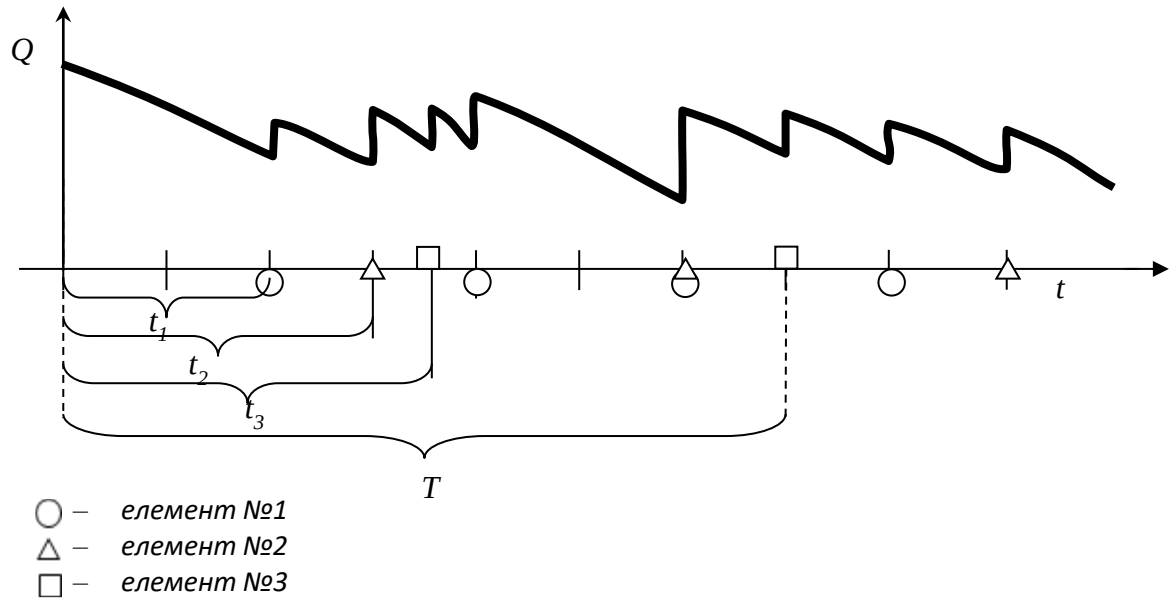
$\bar{z}$ - відносні витрати від зупинки системи внаслідок досягнення одного з елементів граничного стану або з інших причин;

$\bar{d}$ - відносний дохід системи від експлуатації в одну одиницю часу.

Для більшої наочності та доступності основних положень введемо деякі обмеження, які, своєю чергою, не внесуть істотних змін до таких узагальнень. Нехай кількість елементів системи, час роботи окремо взятого елемента до граничного стану, загальна кількість зупинки системи, вартість окремо взятого елемента і вартість їх відновлення є величини постійні протягом усього періоду функціонування, тоді система з трьома елементами буде виглядати таким чином (мал.1) .

Стан системи на рис.1 відображено в системі координат: вартість системи – час функціонування. Відображена крива демонструє зміну вартості системи залежно від тимчасових процесів, спрямованих на відновлення функцій системи. Кожне відновлення з одного боку супроводжується витратами, з іншого боку – підвищенням вартості системи.

Нехай функціонування системи визначено такими правилами та обмеженнями:



Мал. 1. Схема життєвого циклу системи з трьома елементами

1) функціонування основних елементів починається з точки 0;

2) відстань між елементами однієї групи *i* може бути меншим або рівним t_i, але більше 0;

3) тимчасова характеристика визначена дискретною поведінкою, що вказує на виконання однієї дії за одиницю часу;

4) тривалість тимчасового процесу з відновлення одного елемента виражається одиницею часу, незалежно від того, за яких умов воно проводиться.

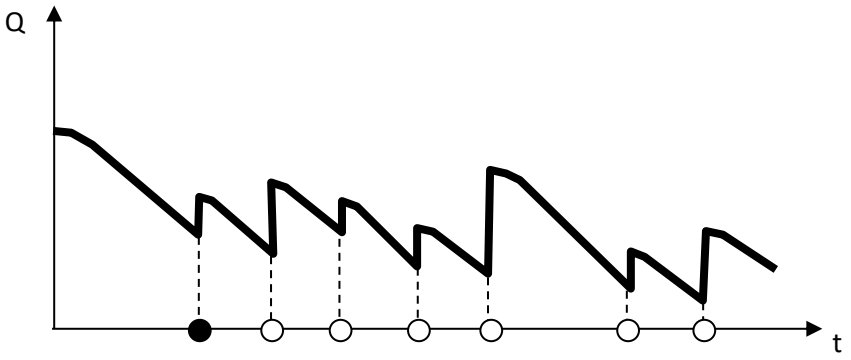
Оптимізація полягатиме в мінімізації витрат на відновлення функцій системи і збільшення показника ефективності за рахунок об'єднання тимчасових процесів.

Залежність, яка визначає необхідність пошуку рішення, представлена відношенням відносних витрат від зупинки системи до відносного ефекту від функціонування системи за одиницю часу. Назвемо його коефіцієнтом необхідності пошуку оптимального рішення:

$$k_r = \frac{\bar{z}}{\bar{d}}. \qquad (1)$$

де $\bar{z}$ – відносні витрати від зупинки системи;

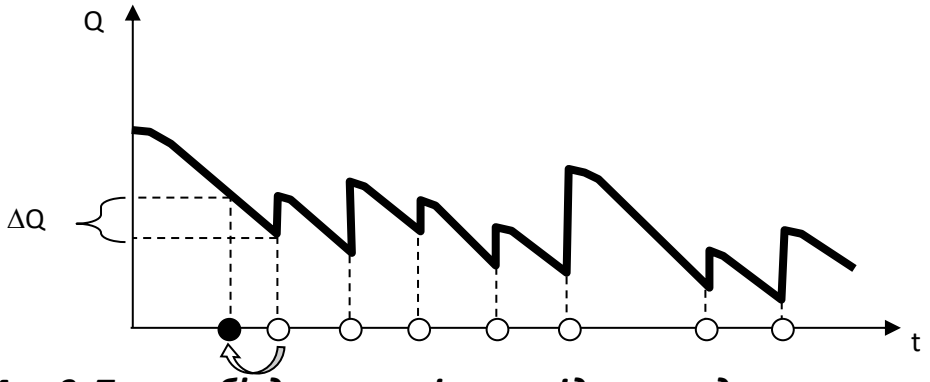
$\bar{d}$ – відносний ефект системи.



Мал.2. Точка об'єднання співпадає з одним із тимчасових процесів.

○

●- *точка тимчасового процесу;*



Мал.3. Точка об'єднання зміщена відносно одного з тимчасових процесів.

○

●

Очевидно, якщо відносні витрати від зупинки системи тяжіють до нуля і відносний ефект є величиною постійною, то тимчасові процеси не вимагають об'єднання, і вирішення завдання пошуку оптимального рішення не має місця.

Протилежне судження теж має сенс, оскільки чим більші відносні витрати, тим більшою мірою проявляється необхідність застосування методу оптимізації.

Розглянемо два випадки, які визначають напрям пошуку рішень.

1. У першому випадку, коли тимчасові процеси знаходяться в безпосередній близькості один від одного і їх об'єднання не передбачає надалі необхідності в додаткових коштах на відновлення функцій системи. Ці тимчасові процеси об'єднуються в напрямку процесів, які ближче стоять в часі. Зону такого об'єднання назвемо зоною безумовного об'єднання.

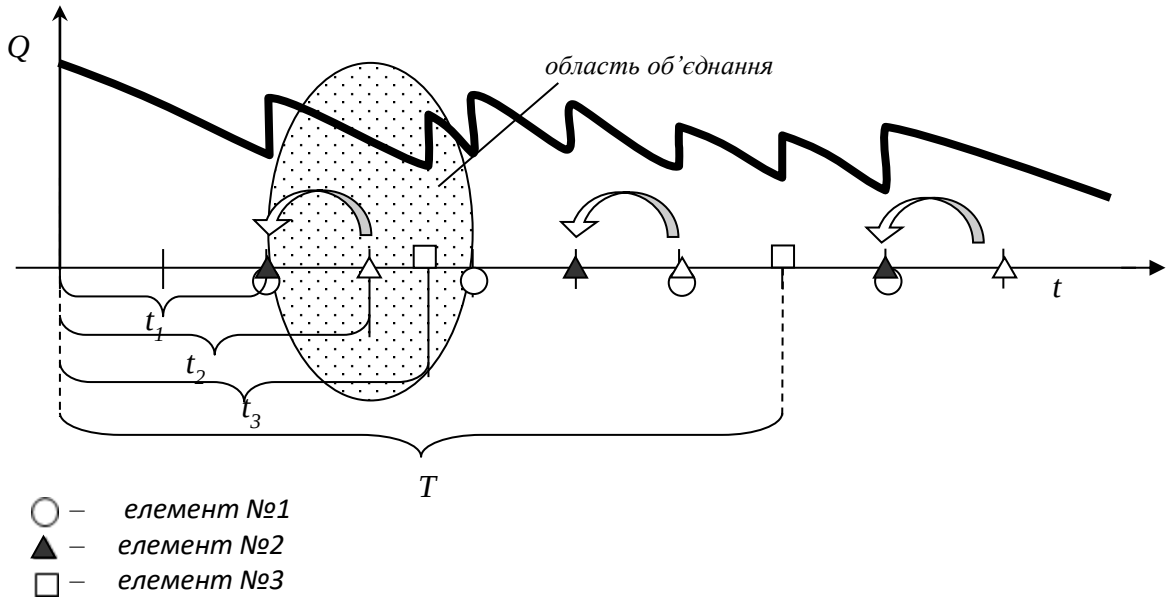
2. У разі, коли тимчасові процеси знаходяться в безпосередній близькості один від одного, але їх об'єднання передбачає надалі необхідність у додаткових коштах, то об'єднання тимчасових процесів буде залежати від ряду факторів і умов, які потрібно перевірити. Таку область зони назвемо зоною умовного об'єднання.

Визначення умов, коли тимчасові процеси знаходяться в зоні умовного об'єднання, підлягають об'єднанню і є ключовим завданням методу об'єднання тимчасових процесів.

Визначимо основні положення методу об'єднання тимчасових процесів у складних системах.

1. За умови відсутності додаткових обмежень точка об'єднання обов'язково збігається з часом одного з тимчасових процесів.

У разі, коли час початку тимчасового процесу не має принципового значення і $\overline{d}$ = const, то зміщення точки об'єднання щодо тимчасового процесу завжди спричиняє збільшення витрат на величину невикористаного ресурсу відновлюваної функції системи (мал.2, 3).



Мал. 4. Схема об'єднання тимчасових процесів, пов'язаних з відновленням другого елемента

2. Зміщення часових процесів не вимагає додаткових витрат, якщо він не передбачає появи додаткового тимчасового процесу в межах прогнозованого тимчасового відрізка (мал.4).

3. При збільшенні витрат на зупинку системи точки об'єднання взаємопритягуються в області вимушеної зупинки системи і помітно збільшують свої об'єднувальні властивості.

4. Область об'єднання обумовлюється областю, в якій знаходяться всі неповторювальні тимчасові процеси.

5. При об'єднанні тимчасових процесів, у разі, коли це спричинило за собою зменшення кількості зупинок системи, завжди буде існувати межа витрат, при яких таке об'єднання буде виправдано (мал.5).

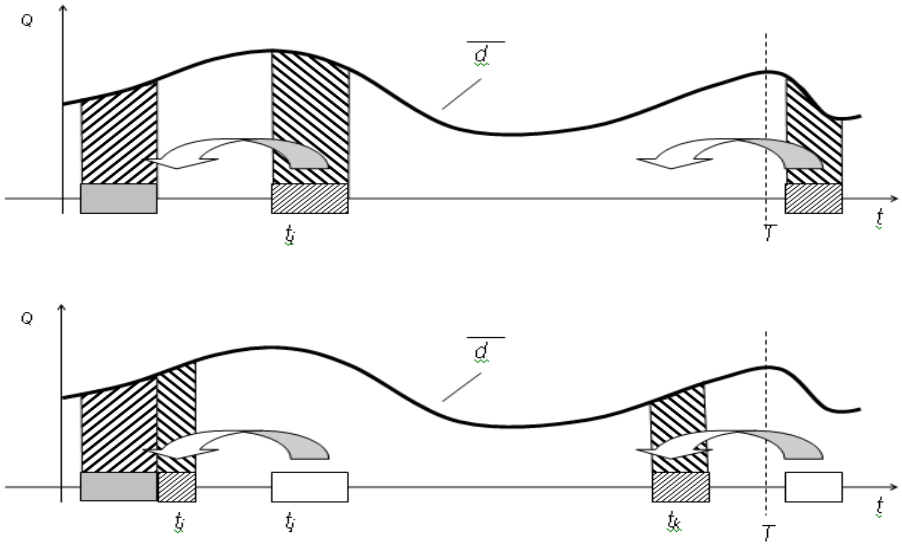
6. Об'єднання тимчасових процесів, які знаходяться в області умовного об'єднання, можна здійснити тільки при дотриманні таких умов:

- якщо тимчасовий процес не є принципово розташованим і може бути об'єднаний;
- якщо в процесі об'єднання з'являється необхідність у додаткових витратах, але це не передбачає надалі появи додаткового тимчасового процесу, при цьому додаткові витрати є меншими від величини витрат на зупинку системи

$$\overline{z} > \sum \overline{q_t}, \qquad (2)$$

де $\sum \overline{q_t}$, – вартість тимчасових процесів, які з'явилися в результаті об'єднання.

- якщо при об'єднанні з'являється необхідність у додаткових коштах на організацію тимчасових процесів і вимагає додаткової зупинки системи, але об'єднує один або кілька тимчасових процесів, тобто не є локальною точкою об'єднання. Локальна точка об'єднання – це точка, в області дії якої знаходяться процеси, але жоден із них відповідно до обмежень не може бути об'єднаний.
- якщо при об'єднанні з'являється необхідність у додаткових коштах і це вимагає організації додаткових тимчасових процесів, об'єднання здійснюється при виконанні такої умови (3), мал.6:



Мал. 6. Схема об'єднання тимчасових процесів

$$\overline{\Delta d} = \overline{d(t_j)} - \overline{d(t_i)} - \overline{d(t_k)}, \ \overline{\Delta z} = \overline{z(t_i)} + \overline{z(t_k)} - \overline{z(t_j)},$$
$$\overline{\Delta d} - \overline{\Delta z} > 0, \qquad (3)$$

де $\overline{d(t_i)}$ – дохід системи протягом періоду t_i, в якому буде організований тимчасовий процес;

$\overline{d(t_к)}$ – дохід системи протягом періоду t_k – появи нового тимчасового процесу;

$\overline{d(t_j)}$ – дохід системи протягом періоду t_j, в якому планується видалити тимчасовий процес;

$\overline{z(t_i)}, \overline{z(t_k)}, \overline{z(t_j)}$ – відповідно витрати на реалізацію тимчасового процесу в кожному з періодів.

З викладених положень видно, що точність результатів, отриманих за допомогою зазначеного методу, безпосередньо залежить від точності прогнозу таких складових, як: відносного доходу системи протягом аналізованого періоду; витрат на зупинку системи; вартості реалізації тимчасових процесів.

На підставі вищевикладеного можна визначити алгоритм оптимізації процесу об'єднання тимчасових процесів за критерієм мінімальних витрат на реалізацію тимчасових процесів:

1) визначаємо поелементний склад системи, елементи якої відповідають за конкретні функції системи;

2) відзначимо перший часовий процес від точки початку досліджуваного періоду в напрямку осі часу як точку об'єднання і визначаємо цей час як P_1 (в загальному вигляді P_k);

3) визначимо область об'єднання, обмежену областю, в якій не повторюється тимчасові процеси $P_к$ до $P_{к+t}$;

4) беремо такі тимчасові процеси, які були визначені на кроці.

1. Якщо при об'єднанні тимчасових процесів не виникли нові витрати, то вони перебували в області безумовного об'єднання і без додаткових умов об'єднуються. Повторюємо *4-й* крок, інакше переходимо до кроку *5*;

5) якщо при об'єднанні з'являється необхідність у додаткових витратах або появі нових тимчасових процесів, то перевіряємо це об'єднання на його доцільність відповідно до шостого положення запропонованого методу. При отриманні задовільного рішення нерівності (3) проводиться перенесення тимчасових процесів у точку об'єднання з переходом до кроку *4*, інакше до кроку *6*;

6) тимчасові процеси, які не задовольняють умову (3), стають наступною точкою об'єднання P_{k+1};

7) якщо після новопризначеної точки об'єднання є тимчасові процеси, то переходимо до кроку *3*, інакше кінець алгоритму.

Повернемося до системи, життєвий цикл якої представлений на рис.1. «Метод об'єднання тимчасових процесів» у цьому випадку дає такі результати:

1) елемент *№1* з часом t_1 стає точкою об'єднання P_1. Елемент *№2* знаходиться в області безумовного об'єднання і притягується до точки об'єднання P_1. Елемент *№3* знаходиться в області умовного об'єднання і тому його об'єднання знаходиться під питанням. Якщо припустити, що всі елементи задовольняють умови, поставлені в шостому положенні, то елемент *№3* теж об'єднується з точкою P_1. У результаті складається така картина (мал.7);

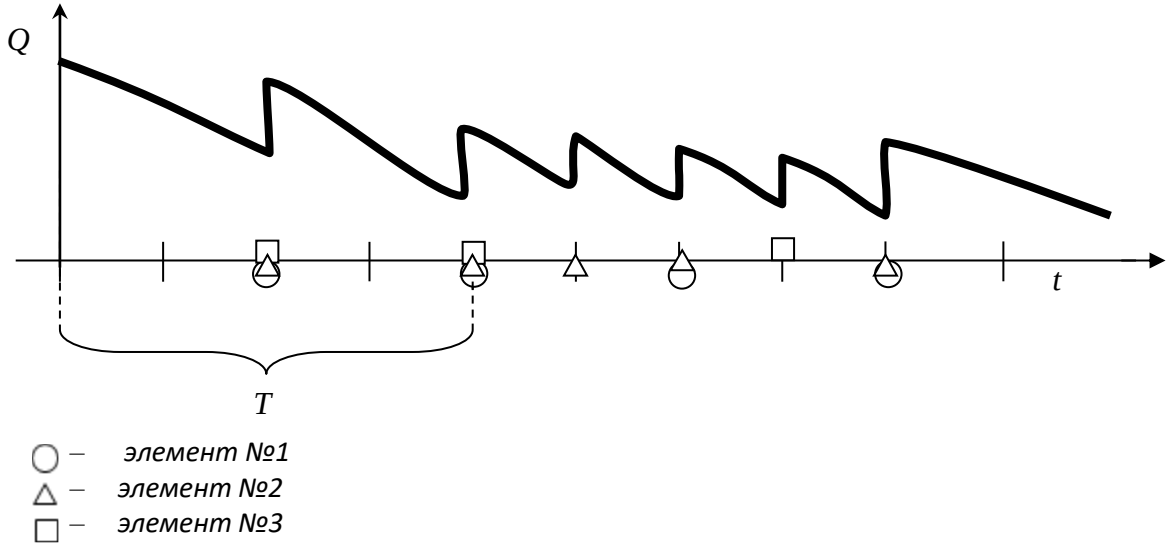
2) при виборі другої точки об'єднання ми знову обираємо елемент *№1* з часом проведення ремонту *2* - t_1. Елементи *№2* і *№3* знаходяться в області безумовного об'єднання і об'єднуються з точкою P_2;

3) при виборі третьої точки об'єднання за певною випадковістю вибір знову падає на елемент *№1* з часом ремонту *3* - t_1. До даної точки об'єднання не відбувається об'єднання елементів, тому що в проміжку від P_3 до кінця досліджуваного періоду ремонтних робіт немає (мал.7).

Як показали дослідження, завдання щодо об'єднання тимчасових процесів є актуальним і практично не має узагальненого рішення. Це дає привід здійснювати пошук у напрямі оптимізаційних узагальнень ряду приватних завдань.

Отже, в нашому дослідженні були отримані такі результати:

1. Проведено класифікацію тимчасових процесів за ознакою їх впливу на функціональний стан системи. Запропоновано розділити їх на три класи: одиночні, повторювальні та циклічні. Здійснено їх опис і описаний характер прояву.



Мал. 7. Демонстрація методу об'єднання тимчасових процесів

2. Визначено параметри, що впливають на об'єднання тимчасових процесів, серед яких: дохід і витрати системи в часі; вартість реалізації тимчасового процесу; вартість відновлення функцій системи.

3. Розроблено метод об'єднання тимчасових процесів, який включає в себе шість основних положень. На основі цих положень приймається рішення щодо можливості та доцільності об'єднання тимчасових процесів.

4. Розроблено алгоритм об'єднання тимчасових процесів, який дозволяє покроково визначити необхідність і доцільність об'єднання тимчасових процесів.

Отримані результати дозволяють за допомогою інформаційних систем реалізувати процедуру об'єднання тимчасових процесів, що істотно знизить імовірність помилки при прийнятті рішень в управлінні складними системами.

Подальше дослідження може бути спрямовано на модифікацію методу з метою охоплення більшої кількості оптимізаційних задач, які на сьогодні потребують розв'язування.

***

Adowan G. A global method for solution of complex systems. *Mathematical modeling.* Vol.5. 1984. Pp. 251-263.

Cao S.G., Rees N.W., Feng G.Analysis and design for a class of complex control systems Part I: Fuzzy modelling and identification. Volume 33. Issue 6. June 1997. Pages 1017-1028

Chimshir V., Chimshir A. (2014) Method of choice of a technical system for project implementation basing upon situational efficiency criterion. *Electronic Scientific Journal.* Retrieved from http://www.wspolczesnagospodarka.pl/?p=764

Chymshyr V. System's technical condition assessment method and determination of its operation timeframe in uncertainty conditions. *Scientific development and achievements.* Volume 5. London: «Sciemcee Publishing», 2018. Pp. 182-195.

Donald V. Steward (1981) Transactions on Engineering Management. Volume: EM-28. Issue: 3. Pp.71-74

Игнатьева А.В. Исследование систем управления [Текст]. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. 157с.

Кокин А.Г. Имитационное моделирование систем: Учебное пособие. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011. 98 с.

Кузьмин Е.А. Неопределенность и определенность в управлении организационно-экономическими системами [Текст]:[Монография]. Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН. 2012. 184 с.

Липаев В.В. Методы обеспечения качества крупномасштабных программных средств. М., 2003. 520 с.

Проектно-ориентированное управление жизненным циклом ремонтопригодных технических систем: дис. докотра технических наук: 05.13.22 АВ Шахов. Одеса: Феникс, 2006. 238 с.

Растригин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.

Урбанович П. П. Информационная безопасность и надежность систем [Текст]. Минск : БГТУ. 2007. 90 с.

Чимшир В.И. Разработка метода количественной оценки социального эффекта при реализации социотехнических проектов [Текст]. *Журн. Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* Харьков: УКЖТ. 2016. № 2/3 (80). С. 56-62.

Valentyn CHIMSHIR

Doctor of technical Sciences, Professor, Director of the Danube Institute of the national University «Odessa Maritime Academy».

Author of 137 scientific works.

He has been studying at Izmail State University of Humanities from 1994 till 1998 years.

Research interests: complex systems management processes; project and program management; modern concepts for improving the energy efficiency of ship systems and complexes.

E-mail: chimshir@ukr.net

TIME PROCESSES COMBINATION IN THE COMPLEX SYSTEMS

The presented work researches a possibility to compose temporal processes to reduce complicated system operation expenditures. It is established, that temporal processes are classified into three categories in view of their influence on a system's functional state. They are single (1), repeating (2) and cyclic (3). It is also established, that presence of large number of temporal processes within a system requires an individual approach to their control.

Key words: *Temporal Processes, Complicated System, Lifecycle, Costs, Optimization, Recovery, Forecast, Time Span.*

The emergence of new technologies in the field of information processing has opened up new opportunities for inventing new methods for optimizing processes in the life cycle of