

УДК 658.011.46: 621-192

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.72770>

РІШЕННЯ ЗАДАЧ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ І ЗНАНЬ ПРО ЗАКОН ЗМІНИ СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Д-р техн. наук М.П. Ремарчук

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ЗНАНИЙ О ЗАКОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Д-р техн. наук Н.П. Ремарчук

SOLVING PROBLEMS THROUGH THE APPLICATION OF SYSTEM ANALYSIS AND KNOWLEDGE OF THE LAW OF THE STATE CHANGE OF THE OBJECT OF RESEARCH

Doct. of techn. sciences M.P. Remarchuk

Наведено ряд прикладів для пошуку найкращого рішення різних за складністю наукових задач для об'єктів дослідження, як технічних системи (ТС), відмінних за призначенням і конструктивним виконанням для стадій проектування або експлуатації на підставі застосування системного аналізу.

***Ключові слова:** системний аналіз, технічна система, задача, вхід, вихід, внутрішній стан, пошук рішення, імітаційне моделювання.*

Приведен ряд примеров для поиска наилучшего решения научной задачи для различных по сложности технических систем (ТС) по назначению и конструктивному исполнению на стадиях проектирования или эксплуатации на основании применения системного анализа

Ключевые слова: системный анализ, техническая система, задача, вход, выход, внутреннее состояние, поиск решения, имитационное моделирование.

Some examples are given to find the best solution of scientific problems for different complexity of technical systems (TS) by purpose and design in the design or operation on the basis of the system analysis taking into account knowledge about patterns of change in state of an object of research. Through the application of system analysis determines the magnitude of the rational (conditionally optimal) values of the parameter that provides the most efficient use of energy TC. The solution of complex problems is based on the use of simulation modeling and computer technologies.

Keywords: system analysis, technical system, task, input, output, and internal state of the solver, simulation.

Вступ. Відомо [1, 2, 3], що системний аналіз це метод дослідження різних об'єктів, зокрема технічних систем (ТС). Розглядаються такі ТС, результатом функціонування яких є процес перетворення енергії палива в корисну роботу при управлінні кваліфікованим спеціалістом-оператором при врахуванні впливу на них навколишнього середовища. До основних складових, що впливають на ТС відносяться вхід і вихід та складова яка характеризує процес перетворення входу у вихід, тобто така, що відповідає за внутрішній стан ТС. Внутрішній стан, як третя її складова може характеризувати стан ТС. При зміні умов проектування чи подальшого використанні ТС вхід, вихід та внутрішній стан завжди змінюється. Пошук найкращого рішення при проектуванні чи функціонуванні ТС при умові зміни всіх її складових, що характеризується визначенням раціональних (умовно оптимальних) параметрів, які забезпечують найбільш ефективно витрачання енергії є рішенням науково-практичної проблеми для досліджуваного об'єкту. Такий підхід являється актуальним напрямком, який створює можливості для удосконалення об'єкту дослідження на стадіях проектування та експлуатації за рахунок діагностування стану ТС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робочий процес досліджуваного об'єкту, як вказано вище, забезпечується присутністю людини, тобто природної системи. Тому таку систему назовемо, як змішану, []. Управління людиною ТС розглядається, в першу чергу, як процес перетворення інформації, тобто енергії. «Інформація» належить до числа головного поняття основ системного аналізу. ТС є досить різноманітними, тому їх можливо класифікувати за ступенем складності і змінності. За ступенем складності їх

підрозділяються на три групи: прості; складні; дуже складні. За ступенем змінності системи розподіляють на детерміновані і вірогідні. Структурний взаємозв'язок ТС і людини це сукупність елементів, які утворюють її цілісність, що дозволяє змішаній системі в зовнішньому середовищі виконувати корисну специфічну та різноманітну роботу. Процедuru поділу змішаної системи для отримання функціонально діючих підсистем, доцільно виконувати до рівня зручних для безпосереднього дослідження. Такі підсистеми, які не підлягають подальшому поділу, назовемо елементами цієї системи. Елемент системи – це межа поділу системи, з точки зору розгляду процесу подальших досліджень.

Дослідження при сумісному функціонуванні ТС і людини є досить складною задачею. В даній роботі розглядаються дослідження без участі людини тільки для ТС в цілому або її складових елементів.

Для спрощених досліджуваних ТС або їх елементів процесом їх розгляду може служити люба «інформація» яка передається з входу на її вихід. Причому, для ТС вихід Y розглядається як процес перетворення входу X через внутрішній стан S . Досліджуваний об'єкт, як ТС, згідно [3, 4] представляється згідно рис. 1.

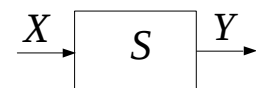


Рис. 1. Структурна схема об'єкту дослідження

Внутрішній стан S досліджуваної ТС, наведеної на рис. 1, визначається через знання функції входу X і виходу Y за формулою

$$S = Y/X. \quad (1)$$

Згідно залежності (1), у відповідності до досліджень [3, 4], внутрішній стан S може являтися критерієм ефективності проектування «розробки» або функціонування ТС в умовах експлуатації.

Для ТС, як об'єктів дослідження, був застосований системний аналіз при їх проектуванні та на стадії функціонування в умовах експлуатації, результати яких наведено в роботах [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Результати наведених досліджень потребують внесення ряду уточнень та узагальнень для забезпечення широкого застосування їх на практиці.

Мета роботи і задачі досліджень. На підставі вищенаведеного, метою дослідження являється розробка методології рішення різноманітних задач на основі використання системного аналізу і знань про закон зміни стану об'єкта дослідження на стадії проектування ТС або її елементів та на стадії функціонування в умовах експлуатації. Для досягнення даної мети необхідно вирішити ряд задач, зокрема представити рішення задач:

- навести приклади дослідження ТС або їх елементів, як складових, для стадії проектування та для стадії функціонування в умовах експлуатації;

- вказати відмінності отриманих результатів відносно відомих досліджень.

Основна частина дослідження.

Приклади дослідження ТС представлено:

- на стадії проектування гідросистеми при виборі раціонального діаметру трубопроводу на всіх її ділянках для робочої рідини в заданому діапазоні зміни в'язкості;

- при функціонуванні в умовах експлуатації гідросистеми землерийної машини.

1. При проектуванні гідросистеми машини особливі труднощі виникають при визначенні діаметра трубопроводу на всіх ділянках гідросистеми. Якщо прийняти величину діаметра трубопроводу однаковою, як в основному виконують в реальних гідросистемах, крім магістралі для підводу робочої рідини до насосу. Для вирішення цього питання можна скористатись наведеною нижче методологією визначення раціонального (оптимального) діаметра трубопроводу для гідросистеми в цілому, як ТС, при використанні

робочої рідини заданої марки, наприклад МГ-30, з відомою закономірністю зміни її в'язкості. Ця методологія базується на основі роботи [7] при врахуванні всіх факторів, що впливають на процес проектування гідросистеми з гідродвигуном поступального руху визначають ККД гідросистеми для прямого напрямку руху штока $\eta_{i,j}^n$ або для

зворотного напрямку руху штока $\eta_{i,j}^{zv}$ в залежності від характеру навантаження штока гідроциліндра, тобто в режимі прямого чи зворотного напрямку руху штока при врахуванні при проектуванні гідросистеми змінної величини діаметра трубопроводу dtr_j .

Критерій ефективності проектування гідросистеми за величиною раціонального діаметра трубопроводу визначається завдяки виявленню пропорційного зв'язку між змінною величиною ККД гідросистеми з гідродвигуном поступального руху для прямого напрямку руху штока $\eta_{i,j}^n$ чи зворотного напрямку руху

штока $\eta_{i,j}^{zv}$, як виходу ТС, до параметру входу, зокрема до змінної величини діаметру трубопроводу dtr_j .

На підставі (1) з урахуванням напрямку руху штока (прямий чи зворотний) критерій ефективності представляється у вигляді:

- прямий напрямок руху штока

$$Ken = \eta_{i,j}^n / dtr_j \Rightarrow \max \quad (2)$$

- зворотний напрямок руху штока

$$Kez = \eta_{i,j}^{zv} / dtr_j \Rightarrow \max, \quad (3)$$

де Ken , Kez – критерій ефективності визначення раціональної величини діаметра трубопроводу на стадії проектування гідросистеми для прямого і зворотного напрямку руху штока гідроциліндра, відповідно;

$\eta_{i,j}^n$, $\eta_{i,j}^{zv}$ – параметр виходу ТС, що характеризує собою загальний ККД гідросистеми при прямому і зворотному напрямках руху штока гідроциліндра, відповідно;

d_{tr_j} – параметр виходу ТС, що характеризує собою змінну величину діаметру трубопроводу, мм.

На рис. 2 наведено результати, що показують характер зміни величини ККД гідросистеми для робочого режиму при виконанні гідроциліндром прямого напрямку руху штока $\eta_{i,j}^n$. Причому на рис. 2 це позначення замінено на $\eta_{i,0}$ $\eta_{i,40}$, які показують характер зміни ККД гідросистеми для мінімального та максимального значення діаметра трубопроводу, відповідно суцільна і штрихова криві, в залежності від величини змінної в'язкості ν_{c_i} робочої рідини, в сСт.

На рис. 3 представлений характер зміни критерію ефективності, що позначений як Ke , для визначення раціональної величини діаметра трубопроводу гідросистеми при виконанні

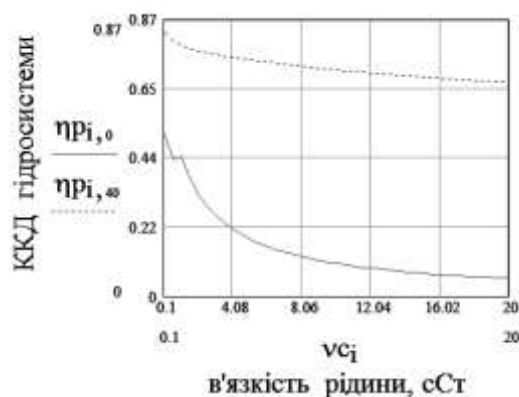


Рис. 2. Величина загального ККД гідросистеми при використанні робочої рідини МГ-30 в залежності від в'язкості робочої рідини

гідроциліндром прямого напрямку руху штока. Так, суцільна крива відповідає значенню для мінімальної величини в'язкості робочої рідини, а штрихова крива для максимальної величини в'язкості робочої рідини. Причому, максимальне значення критерію ефективності на суцільній і штриховій кривих відповідає рішенням задачі по визначенню раціональної величини діаметра трубопроводу гідросистеми, як об'єкта дослідження. З аналізу отриманих результатів (див. рис. 3) можна зробити висновок, що для мінімальної величини в'язкості рідини діаметр трубопроводу відповідає величині на рівні 18...20 мм, а при умові росту в'язкості робочої рідини раціональний діаметр трубопроводу збільшується до 34...36 мм. Встановлення оптимальної величини діаметра трубопроводу потребує проведення додаткових досліджень.

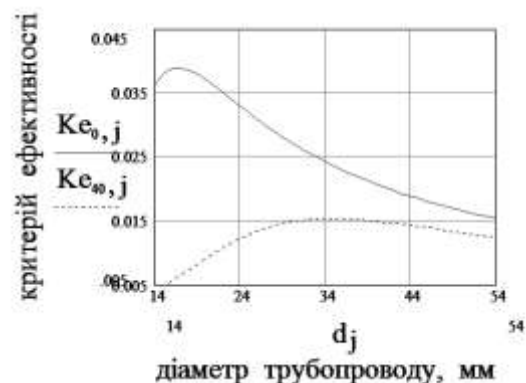


Рис. 3. Критерій ефективності в залежності від величини діаметра трубопроводу для гідросистеми, як об'єкта дослідження

2. На стадії функціонування об'єкта дослідження в умовах експлуатації, як ТС, встановлення рішення задачі, а саме визначення гранично допустимого зниження показника внутрішнього стану, за формулою (1) не можливо. Причиною цього є те, що на стадії функціонування об'єкта дослідження, взаємозв'язки між функціями входу і виходу є відомими тільки на початковому етапі їх використання. В подальшому при використанні ТС вхід і вихід відносно початкових значень

постійно змінюються за невідомими закономірностями. Тому, для таких ТС найкращим рішенням задачі є пошук мінімального значення критерію ефективності, що характеризується деяким рівнем зниження, як раціональний рівень використання об'єкта дослідження на основі знань про закон зміни його стану, тобто входу і виходу як єдиного цілого. Розглядається така ТС, що функціонує в навколишньому середовищі на основі перетворення енергії палива в потужність

двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), тобто потужність входу ТС. Завдяки, наприклад гідросистемі і трансмісії об'єкта дослідження потужність входу перетворюється в корисну роботу, що визначається теж у вигляді потужності, оскільки продуктивність і опір виконанню роботи, зокрема, опір копанню ґрунту сумісно виражають собою потужність на виході ТС. Кожна із потужностей входу і виходу розподіляються, що найменше, на дві складові. Враховуючи наведене, методологія визначення критерію ефективності, наприклад для функціонування землерийної машини, складовою якої є гідросистема, зводиться до наступного. Для об'єкта дослідження, у якого вхід і вихід складається з двох частин, представлено на рис. 4.

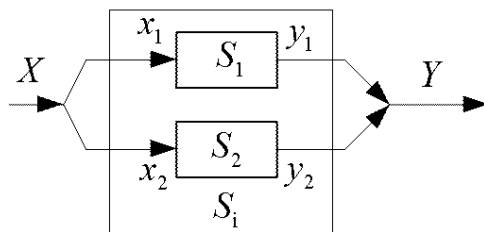


Рис. 4. Загальна структурна схема ТС на стадії її функціонування в умовах експлуатації

Внутрішній стан досліджуваної системи S_i , наведеної на рис. 4, при функціонуванні її в умовах експлуатації визначається через знання складових входу X_1 і X_2 та виходу Y_1 і Y_2 за формулою

$$S_i = \frac{S_1 + S_2}{2} = 0,5 \cdot \left(\frac{y_1}{x_1} + \frac{y_2}{x_2} \right). \quad (4)$$

Залежність (4) дозволяє визначити найкраще рішення у якості гранично

допустимого зниження параметру функціонування, тобто внутрішнього стану, як критерію ефективності даної ТС. Методологія отримання критерію ефективності для вказаного вище об'єкта дослідження на стадії функціонування його в умовах експлуатації, наведена в табл. 1.

На підставі (4) отримана залежність (5), що наведена в табл. 1, яка в якості критерію ефективності досліджуваного об'єкта, за своєю суттю, відображає внутрішній стан як коефіцієнт корисної дії (ККД).

Для забезпечення ефективного використання теорії і практичних методів системного аналізу при прийнятті рішень по визначенню і управлінню станом складних систем, із входом яких є "паливо", а виходом "продуктивність", до яких відносяться ТС із ієрархічним (багаторівневим) розподілом потужності ДВЗ між підсистемами, то для цього об'єкта дослідження необхідно представити його структурну схему досліджуваної ТС. Складові елементи такої ТС за функціональним зв'язком забезпечують перетворення палива в потужність, а її в механічну, а далі в гідравлічну і знову в механічну енергію і утворюють цілком визначену ієрархічність і цілісність для виконання корисної роботи. Для такого об'єкта дослідження властивий інтегральний показник, що визначається продуктивністю роботи, яка є характерною для системи в цілому і не є властивим показником жодному з її окремих елементів складної ТС. Цілісність ТС це принципова відмінність властивості системи в цілому до властивостей окремих складових елементів, які її утворюють, і водночас залежність властивостей кожного елемента від його місця та функцій в складі системи. Наприклад, для гідрофікованої землерийної машини, як об'єкта дослідження, на рис. 5 наведена структурна схема машини.

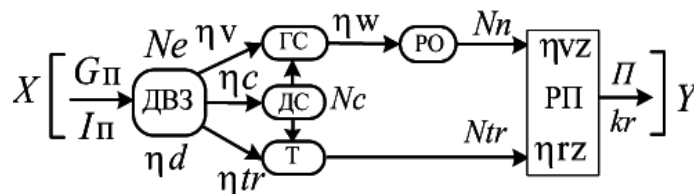


Рис. 5. Об'єкт дослідження на стадії функціонування в умовах експлуатації

Таблиця 1

Методологія отримання критерію для визначення внутрішнього стану об'єкта дослідження на стадії функціонування його в умовах експлуатації

Дослідження процесу зміни стану гідросистеми землерийної машини, як ТС		Розрахункові залежності	Визначення критерію ефективності ТС
Витрати палива	Незмінний стан на протязі всього терміну роботи (ідеальний стан)	$G_j = Ne \cdot g_N \cdot km_j$ де $km_j = t_p \cdot d_p \cdot L_j$	Внутрішній стан ТС, як критерій ефективності (4), визначається на основі складових за залежністю (5) $Ke_{i,j} = \frac{\frac{y_1}{x_1} + \frac{y_2}{x_2}}{2} = \frac{kr \cdot \left(\frac{\Pi k_{i,j}}{\Delta G_{i,j}} + \frac{\Delta \Pi k_{i,j}}{G k_{i,j}} \right)}{2 \cdot \frac{\Pi n}{\Delta G_{i,j}}} \Rightarrow \min$
	Початковий стан (стартові значення)	$Gn_j = Ne \cdot g_N \cdot km_j \cdot \eta n$	
	Поточний стан (змінні витрати палива)	$x_2 = Gk_{i,j} = Ne \cdot g_N \cdot km_j \cdot \eta n_{i,j}$	
	Втрачені можливості палива	$x_1 = \Delta G_{i,j} = Ne \cdot g_N \cdot km_j \cdot (\eta n - \eta n_{i,j})$	
Продуктивність	Незмінний стан (ідеальна стан)	$\Pi_j = P_m \cdot km_j$	
	Поточний стан (змінна продуктивність)	$y_1 = \Pi k_{i,j} = \Pi_j \cdot \frac{\eta n_{i,j}}{\eta n}$	
	Втрачені можливості по продуктивності	$y_2 = \Delta \Pi k_{i,j} = \Pi_j \cdot \left(\frac{\eta n - \eta n_{i,j}}{\eta n} \right)$	

Позначення на рис. 5 визначають наступне: ДВЗ – джерело енергії (двигун внутрішнього згорання або електродвигун); ГС – гідросистема машини, яка виконують конкретну роботу; ДС – додаткова система, що забезпечує працездатність гідросистеми, трансмісії і машини в цілому; Т – трансмісія машини; РО – робоче обладнання, призначене для управління гідросистемою машини; ηd – загальний ККД ДВЗ; ηv – загальний (початковий) ККД гідросистеми ГС; ηc – загальний ККД додаткової системи машини; ηw – загальний ККД рухомих з'єднань робочого обладнання машини РО; ηtr – загальний ККД трансмісії машини; РП – робочий процес

машини; Π – продуктивність; Gn , Πn – витрати палива двигуном і теплотворна здатність палива; Ne – ефективна потужність ДВЗ; Nn – потужність ДВЗ, яка витрачається на отримання продукції; Ntr , Nc – потужність ДВЗ, яка витрачається на трансмісію і на додаткові системи управління машини; ηv_z , ηz – ККД використання часу на виконання функції до загального в робочому циклі машини та ККД робочого процесу в робочому циклі машини, які введені на підставі процесу функціонування ТС в робочому циклі при виконанні нею корисної роботи.

Для об'єкта дослідження, наведеного на рис. 5, початкова величина циклового загального ККД, визначається за формулою

$$\eta_H = \frac{\eta_d \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_v \cdot \eta_w \cdot \eta_c \cdot \eta_{vz} \cdot \eta_{rz}}{dtr \cdot \eta_v \cdot \eta_w \cdot \eta_c + dc \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_v \cdot \eta_w + an \cdot \eta_c \cdot \eta_{tr}}, \quad (6)$$

де dc , dtr – частка потужності, що використовується додатковою системою управління та трансмісією;

an – частка потужності, що використовується гідросистемою машини, $an = 1 - dtr - dc$.

Обмеженнями по рівню використання потужності гідросистемою являються такі умови: $0 \leq dtr \leq 0,7$; $0 \leq dc \leq 0,2$; $an + dtr + dc = 1$.

Як відомо, величина циклового ККД зі зміною часу, якщо не проводяться заміна зношених елементів на нові характеризуватиметься його зниженням. Рівень, до якого може знижуватися величина цього ККД, являється межею де затрати на отримання продукції не

перевищують витрати на паливо. Така межа є граничною (критичною), яка свідчить про необхідність заміни зношених елементів гідросистеми на нові, чим усувається неефективне використання ТС.

Протягом прийнятого терміну служби ТС цикловий загальний ККД реальної гідросистеми поступово знижується і характеризується як випадковий процес. Допускаючи, поступове зниження загального ККД, і приймаючи, що при рівних проміжках часу ККД пропорційно знижується, то такий процес можна представити як детермінований. Процес зниження втрат загального ККД гідросистеми ТС представимо у вигляді імітаційних моделей різних законів, що впливають на стан роботи об'єкта дослідження, зокрема:

$$\eta_{et_{i,j}} = Ae0 \cdot \eta_i \cdot t_j^{n0} \cdot e^{(t_j \cdot Ae1)^{n1}} - \text{експоненціальний по напрацюванню}, \quad (7)$$

$$\eta_{pt_{i,j}} = (b \cdot t_j + a \cdot t_j^2) \cdot \eta_j - \text{параболічний по напрацюванню}, \quad (8)$$

$$\eta_{at_{i,j}} = Ao \cdot t_j \cdot \eta_i - \text{лінійний по напрацюванню}, \quad (9)$$

$$\eta_{tp_{i,j}} = (m1 \cdot \sqrt{t_j} - m2 \cdot t_j) \cdot \sqrt{\eta_i} - \text{параболічний по напрацюванню при умові прискореного зниження ККД гідросистеми}, \quad (10)$$

де a , b , Ao , $Ae0$, $Ae1$, $n0$, $n1$, $m1$, $m2$ – складові рівнянь для імітаційного моделювання у вигляді лінійного, параболічного, експоненціального і прискореного законів зниження загального ККД гідросистеми, відповідно;

t_l , η_i – складові імітаційного закону, що моделюють поточний час роботи гідросистеми та поточне значення загального ККД гідросистеми.

Загальний цикловий ККД об'єкту дослідження з урахуванням розподілу енергії (див. рис. 5) між споживачами і природного спрацювання гідросистеми він знижується за невідомими законами. Позначивши $\eta_{i,j}$, замість $\eta_{et_{i,j}}$, $\eta_{pt_{i,j}}$, $\eta_{at_{i,j}}$, $\eta_{tp_{i,j}}$, як величину зниження загального ККД, наприклад гідросистеми, тоді при імітаційному моделюванні кожного із законів зміни циклового ККД об'єкту дослідження можна його представити однією залежністю у вигляді:

$$\eta_{H,i,j} = \left((\eta_d - \eta_{i,j} \cdot k1) \cdot \eta_{tr} \cdot (\eta_v - \eta_{i,j} \cdot k) \cdot \eta_w \cdot \eta_c \cdot \eta_{vz} \cdot \eta_{rz} \right) \div \left(dtr \cdot (\eta_v - \eta_{i,j} \cdot k) \cdot \eta_w \cdot \eta_c + dc \cdot \eta_{tr} \cdot (\eta_v - \eta_{i,j} \cdot k) \cdot \eta_w + an \cdot \eta_c \cdot \eta_{tr} \right), \quad (11)$$

де k , k_1 – вплив зміни ККД гідросистеми і ДВЗ, відповідно, при значенні одиниця вплив зміни ККД враховується, при значенні нуль – не враховується;

$\eta_{i,j}$ – зниження загального ККД гідросистеми чи ДВЗ.

Використовуючи залежність (5), що наведена в табл. 1, розглянемо на конкретному прикладі для ТС (див. рис. 5), з врахуванням наведених вище закономірностей зміни ККД, методологію визначення критерію ефективності функціонування даного об'єкту дослідження. Прийемо: початковий загальний ККД гідросистеми складає, наприклад, величину $\eta_v=0,7$; шарнірних сполучень $\eta_w=0,965$; трансмісії $\eta_{tr}=0,93$; додаткової системи управління $\eta_c=0,95$; рівень споживан-

ня потужності додатковою системою складає $dc=0,05$, а рівень споживання гідросистемою потужності від ДВЗ складає величину – 95%, а трансмісії $dtr=0$. Термін служби машин [11], з урахуванням характеру зниження загального ККД, складає 13 років. Коефіцієнти, що забезпечують моделювання законів у вигляді лінійного, параболічного, експоненціального та прискореного параболічного характеру зниження загального ККД гідросистеми машини складають: $a=0,052$; $b=0,0093$; $Ao=0,077$; $Ae0=0,0019$; $Ae1=0,25$; $n0=1,5$; $n1=0,75$; $m1=0,239$; $m2=0,002$.

На рис. 6 представлені результати розрахунків, що отримані на основі початкових даних та знань про закони зниження ККД гідросистеми машини.

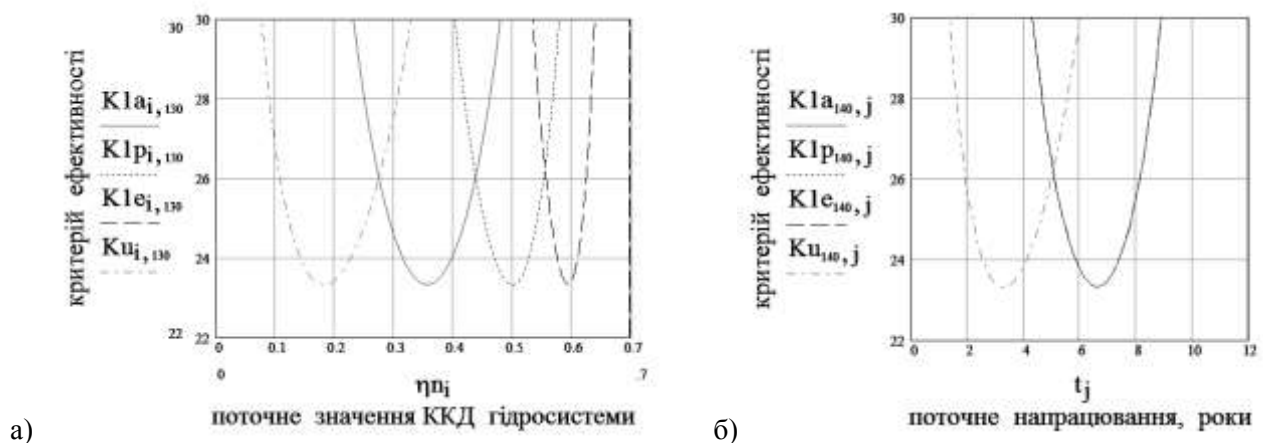


Рис. 6. Результати імітаційного моделювання процесу функціонування, наприклад гідрофікованої землерийної машини, які отримані для прийнятих знань про закони зниження ККД гідросистеми і відображають наступне:

- а – рівень гранично допустимого зниження ККД гідросистеми машини;
- б – гранично допустимий термін напрацювання машини

На рис. 6, а,б графіки з мінімальним значення результатів характеризують рівень допустимого зниження ККД гідросистеми і терміну напрацювання через зниження циклового ККД об'єкту дослідження на підставі знань про закон зниження ККД гідросистеми машини.

Висновок. На основі теорії системного аналізу розроблена методологія пошуку рішення складних задач на стадіях проектування та функціонування ТС в умовах експлуатації. Ця методологія базується відповідно на застосуванні рівнянь (1) і (4). Встановлені дані являються уточненням по відношенню до відомих результатів [5...10], отриманих автором раніше.

Список використаних джерел

1. Системный анализ и структуры управления [Текст] / под общ. ред. проф. В.Г. Шорина. – М.: Знание, 1975. – Кн. 8. – 304 с.
2. Горстко, А.Б. Познакомьтесь с математическим моделированием [Текст] / А.Б. Горстко. – М.: Знание, 1991. – 160 с.
3. Старіш, О.Г. Системологія [Текст] / О.Г. Старіш. – К.: Центр навч. літ., 2005. – 232 с.
4. Соловьев, А.И. Коэффициент полезного действия механизмов и машин [Текст] / А.И. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1966. – 180 с.
5. Ремарчук, Н.П. Оценка качества гидросистем машин на основе определения коэффициента полезного действия [Текст] / Н.П. Ремарчук // Автомобильный транспорт. Серия "Совершенствование машин для земляных работ": сб. науч. тр. – Харьков: Рио ХГАДТУ, 2000. – Вып. 5. – С. 156-159.
6. Ремарчук, Н.П. Обоснование предельно допустимого уровня снижения общего КПД гидропривода МЗР [Текст] / Н.П. Ремарчук // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – Харьков: Рио ХГАДТУ, 2000. – Вып. 17. – С. 30-34.
7. Ремарчук, М.П. Визначення оптимального діаметра трубопроводу гідросистем мобільних машин на стадії проектування [Текст] / М.П. Ремарчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2006. – №1/2 (19). – С. 54-59.
8. Ремарчук, М.П. Визначення стану гідросистем мобільних машин по рівню зниження коефіцієнта корисної дії [Текст] / М.П. Ремарчук // Науковий вісник будівництва: зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2004. – Вип. 28. – С. 146-156.
9. Ремарчук, М.П. Вдосконалення методики визначення гранично допустимого рівня зниження загального ККД гідросистем мобільних машин [Текст] / М.П. Ремарчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2005. – №6/2 (18). – С. 172-181.
10. Ремарчук, М.П. Визначення технічного стану і залишкового ресурсу гідросистем мобільних машин [Текст] / М.П. Ремарчук // Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2005. – Вип. 33. – С. 301-308.
11. Ковалев, А.П. Экономическое обеспечение надежности машин [Текст] / А.П. Ковалев, В.И. Кантор, А.Б. Можаяев. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

Ремарчук Микола Парфенійович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-66. E-mail: remarchuk@ukr.net.

Mykola Remarchuk, doctor of technical sciences, professor department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-66. E-mail: remarchuk@ukr.net.