
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 517.1:519.7:62-50

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.5>

ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Димова Г. О. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5294-1756

Ларченко О. В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-7857-0802

Взаємодія системи та зовнішнього середовища характеризується двома типами зв'язків – вхідними і вихідними. І ті, й інші є матеріальними, енергетичними та/або інформаційними потоками (безперервні або дискретні в часі). Вважають за краще відображати взаємодію системи та зовнішнього середовища більш спрощено. Якщо склад і внутрішні зв'язки в системі, а також властивості її елементів невідомі, систему визначають як "чорна скринька". Під останньою прийнято розуміти об'єкт, про внутрішню будову якого нічого невідомо та інформацію про будову та функціонування якого можна частково отримати лише аналізуючи вхідні-вихідні зв'язки цього об'єкта. При цьому слід мати на увазі, що і вхід і вихід системи, зазвичай, носять двояку природу. Зокрема, на вхід системи надходять від зовнішнього середовища не тільки ті матеріальні, енергетичні та/або інформаційні потоки, які необхідні для її функціонування відповідно до поставлених перед нею цілей, а й такі, що фактично ускладнюють реалізацію системою поставленої мети. Перші зазвичай називають сигналами, а другі – перешкодами. Останні можуть мати як індивідуальний (байдужий) стосовно мети системи характер, і бути цілеспрямовано організованими із боку частини зовнішнього середовища задля перешкодження виконанню системою свого призначення. В роботі поставлені завдання для дослідження нерегульованого об'єкта. При дослідженні нерегульованого об'єкта має значення те, що сигнали завжди описують поведінку об'єкта як цілого і відображують індивідуальні рухи великого числа його однотипних мікрочастин.

На першому етапі аналізу – виділенню класу – необхідно вирішити загальні питання: за апріорними даними про досліджуваній об'єкт обґрунтовано обираємо один з типів оператора (функціональний, диференціальний, інтегральний або інтегро-диференціальний). При цьому необхідно враховувати і попередню інформацію, отримувану з сигналу.

Дана стаття присвячена обговоренню постановки задачі і схеми її розв'язання в найпростішому варіанті другого етапу аналізу структури нерегульованого об'єкта. Розробка методів пошуку у визначеному класі рівняння відноситься до обернених задач аналізу.

Ключові слова: нерегульований об'єкт, експериментальні дані, характеристичне рівняння, «чорна скринька», аналіз структури об'єкта, побудова моделі.

Dymova H. O., Larchenko O. V. Inverse problems of analysis of an unregulated object

The interaction of the system and the external environment is characterized by two types of connections – input and output. Both those and others are material, energy and/or information flows (continuous or discrete in time). They prefer to display the mutual influence of the system and the external environment in a more simplified way. If the composition and internal connections in the system, as well as the properties of its elements are unknown, then the system is defined as a "black box". The latter is usually understood as an object, about the internal structure of which nothing is known and information about the structure and functioning of which can be partially obtained only by analyzing the input-output connections of this object. In this case, it should be borne in mind that both the input and output of the system, as a rule, are of a dual nature. In particular, the input of the system comes from the external environment not only those material, energy and / or information flows that are necessary for its functioning in accordance with its purposes, but also those that actually make it difficult for the system to achieve its. The first of these is usually called signals, and the second – noise. The latter can be either indifferent (indifferent) in relation to the purpose of the system, or be purposefully organized by a part of the external environment to prevent the system from fulfilling its purpose. The paper sets the tasks for the study of an unregulated object. When studying an unregulated object, it is important that the signals always describe the behavior of the object as a whole and reflect the individual movements of a large number of its microparticles of the same type.

At the first stage of the analysis – class selection – it is necessary to solve general issues: according to a priori data about the object under study, reasonably choose one of the types of operator (functional, differential, integral or integro-differential). In this case, it is also necessary to take into account the preliminary information obtained from the signal.

This article is devoted to the discussion of the problem statement and the scheme of its solution in the simplest version of the second stage of the analysis of the structure of an unregulated object. The development of search methods in a certain class of equation belongs to the inverse problems of analysis.

Key words: unregulated object, experimental data, characteristic equation, "black box", object structure analysis, model building.

Вступ. У міру переходу до дослідження все більш складних явищ збільшується значення планування експерименту, а також аналізу результатів пасивних спостережень. Традиційній схемі дослідження відповідає наступна послідовність операцій:

- отримання експериментальних даних – це виявлення якісних сторін явища та побудова його моделі, написання рівнянь моделі та їх розв'язання;
- зіставлення рішення з експериментами та уточнення моделі тощо.

Така схема дослідження виявляється при цьому не завжди доцільною.

Постановка проблеми. Для вивчення складних об'єктів, коли при цьому огляд результатів вимірювань стає проблемою, запропоновано схему «чорної скриньки». У цій схемі впливи експериментатора на об'єкт описуються формально як набір збуджень. Цю схему, що виходить із регулярного зіставлення відгуків об'єкта (на виході «чорної скриньки») зі збудженнями (на його вході), характеризує дещо інша послідовність операцій [1-2]:

- 1) вибір апріорного класу рівнянь моделі;
- 2) зіставлення відгуків зі збудженнями та отримання конкретних рівнянь моделі;
- 3) побудова моделі.

У найпростішому варіанті аналізується релаксація до стійкого граничного руху у відповідь на початкове відхилення. Задачу відшукування рівнянь моделі в принципі можна розв'язати, якщо збурення на вході «чорної скриньки» досить повні і дозволяють виявити у відгуках об'єкта всі його ступеня свободи, суттєві в явищі, що спостерігається.

Виклад основного матеріалу. Нехай сигнал $U_0(t)$ автономного об'єкта описується звичайним лінійним диференціальним рівнянням зі стійкою точкою спокою $U_0 \equiv 0$ [1-2].

$$\frac{d^q U_0}{dt^q}(t) + \sum_{m=0}^{q-1} a_m \frac{d^m U_0}{dt^m}(t) = 0.$$

Позначимо $\{U_0^{(m)}\}$ початкові умови: $\frac{d^m U_0}{dt^m}(0) = U_0^m$, $m = 0, 1, 2, \dots, q-1$. Враховуючи для простоти, що рівняння (1) не має кратних характеристичних чисел, отримаємо

$$U_0(t) = \sum_{l=1}^q C_l e^{k_l t}, t < 0. \quad (2)$$

Характеристичне рівняння $k^q + \sum_{l=0}^{q-1} a_l k^l = 0$ встановлює взаємно однозначний зв'язок між сукупністю коренів $\{k_l\}$ і вектором $(a_0, a_1, \dots, a_{q-1})$. З іншого боку при даному наборі характеристичних чисел маємо q рівностей $\sum_{l=1}^q C_l (k_l)^m = U_0^{(m)}$ ($m = 0, 1, 2, \dots, q-1$), що однозначно зв'язують вектори (C_1, C_2, \dots, C_q) та $(U_0^{(0)}, U_0^{(1)}, \dots, U_0^{(q-1)})$. Очевидно, кожний конкретний запис сигналу $U_0(t)$ дозволить знайти тільки ті значення k_p для яких у відповідності з початковими умовами $\{U_0^{(m)}\}$ коефіцієнти C_l окажуться відмінними від нуля. Метою аналізу є обчислення коефіцієнтів $\{a_l\}$ за записом $U_0(t)$, тому можна враховувати, що кожен з векторів $(U_0^{(0)}, U_0^{(1)}, \dots, U_0^{(q-1)})$, для якого всі $C_l \neq 0$, дозволяє без додаткових збуджень досліджувати об'єкт, тобто одне таке початкове відхилення реалізує повний набір збуджень об'єкта.

Ці міркування втрачають сенс, якщо проводячи експеримент, немає можливості формувати на власний розсуд стани автономного об'єкта і змушений робити висновки зі спостережень його руху, що встановився. Область додатків такого роду задачі достатньо широка – нерегульованих об'єктів більше, ніж це представляється з першого погляду. До них відносяться багато медичних й промислових об'єктів, відхилення від нормальної діяльності яких небажані, а також питання аналізу результатів записаних неповторюваних спостережень. На початковому етапі дослідження доцільно враховувати нерегульованим цілком доступний, але достатньо складний об'єкт, зв'язки якого із зовнішнім середовищем будучи неістотними при вивченні даного явища, можуть сильно ускладнити аналіз, тобто залишаючись у рамках ідеалізованої схеми аналізу, що описується в цій моделі, не враховуються впливи внутрішніх флуктуацій об'єкта, його нелінійності, зовнішній шум тощо. Крім цього, зазвичай заздалегідь невідомо і наскільки повний доступний та використовуваний набір збуджень.

При дослідженні нерегульованого об'єкта велике значення має те, що сигнали, які достатньо детально фіксуються, завжди не тільки описують поведінку об'єкта як цілого, але і відображують індивідуальні рухи великого числа його однотипних мікрочастин. Найпростішою, що враховує це математичної моделі формування в часі t сигналу $U(t)$ можна придати вид рівняння $D_0[U] = F(t)$, где $F(t)$ – малі короткокорельовані гаусові флуктуації, що збуджують встановлену динамічну зміну сигналу, яка проходить згідно рівнянню $D_0[U] = 0$ [2, 3]. Клас $\{D_\alpha\}$ операторів, що породжують динамічне рівняння $D_\alpha[U] = 0$ і серед них – рівняння $D_0[U] = 0$, яке динамічно апроксимує спостережувані прояви об'єкта, що аналізується, визначають виходячи з апіорних відомостей про останній, із аналогових міркувань (що враховують властивості об'єктів, відомих досліднику і подібних тому, що вивчається), а також з принципу простоти опису.

Схема чорної скриньки рекомендує після виділення класу $\{D_a\}$ динамічних операторів відшукати (за допомогою чисельної обробки сигналу U) в цьому класі елемент D_0 , який породжує динамічне рівняння об'єкта, що вивчається. Потім по виду D_0 нужно на основі відомих законів природи побудувати вже не математичну, а відповідно до задачі фізичну, хімічну, біологічну, економічну, тобто «природну» модель. Принципові ускладнення при цьому неминуче повинні виникати при суттєвої участі у спостережуваному явищі абсолютно невідомих нам законів природи.

З першим етапом аналізу – виділенням класу $\{D_a\}$ – пов'язані загальні питання: за апіорними даними про досліджуваний об'єкт необхідно спочатку обрати один з типів оператора, встановлюючись, наприклад, на функціональних, диференціальних (звичайних, із запізнюючим аргументом з приватними похідними), інтегральних або інтегро-диференціальних операторах [4; 5]. Потім слід обгрунтовано вибрати тип операторів. Врахувавши більш детальні апіорні відомості, обмежимося розглядом лінійних або ж слабонелінійних операторів з постійними коефіцієнтами. В такому разі необхідно враховувати не тільки апіорні властивості об'єкта, що аналізується, але і попередню інформацію, отримувану з сигналу. При побудові «природної» моделі, підхід до вивчення кожного нового об'єкта на заключному етапі зараз представляється ще більш індивідуальним.

Робота присвячена обговоренню постановки задачі і схеми її розв'язання в найпростішому варіанті другого етапу аналізу структури нерегульованого об'єкта – виділення в класі динамічних операторів $\{D_a\}$, що враховується при цьому заздалегідь відомим, оператором D_0 , відповідного статистичним властивостям зареєстрованого сигналу [3; 6].

Висновки. Розробка методів пошуку у визначеному класі рівняння, що має задану функцію своїм рішенням, відноситься до обернених задач аналізу. Назва «обернені», слід враховувати умовним. В принципових природничих проблемах дослідник безпосередньо стикається саме з оберненими задачами, коли спостерігається рух об'єкта і необхідно розуміти влаштування останнього. Пряма ж схема – знайти при заданих умовах рух об'єкта відомої структури – має в науці, як правило, більш вузьку, технічну область безпосередніх додатків. Втім, часто знання рішень різноманітних прямих задач аналізу використовується в обернених схемах для з'ясування структури об'єкта по його поведінці методом підбору або вгадування рівнянь, але такий метод дослідження не завжди ефективний і неекономічний. З традиційною прямою схемою природничих досліджень пов'язані звичні оцінки відносної складності різних описів явища, міркування про надійність висновків тощо. При переході до послідовного аналізу явища у межах оберненої схеми ці уявлення виявляються часто необгрунтованими. Досвід розгляду методикою чорної скриньки без входу поки невеликого числа природничих прикладів свідчить про те, що труднощі в прямій та оберненій схемах розподілені по-різному. Наприклад, основний етап прямої схеми відшукування розв'язків рівнянь об'єкта – у оберненій схемі практично відсутня, оскільки тут спочатку маємо справу з сигналом, тобто з готовим рішенням рівнянь об'єкта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Димова, Г. О. (2020). *Методи і моделі упорядкування експериментальної інформації для ідентифікації і прогнозування стану безперервних процесів*. Херсон : Видавництво ФОП Вишемирський В.С.
2. Гудзенко, Л. И. (1969). Некоторые вопросы структуры объекта по установившемуся сигналу. *Труды физического института имени П.Н. Лебедева*, 45, 110–133.
3. Хеннан, Э. (1974). *Многомерные временные ряды*. Москва : Мир.
4. Тихонов А. Н., Гончаровский А. В., Степанов В. В., Ягола А. Г. (1983). *Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация*. М. : Наука.
5. Димова, Г. О. (2021). Інформаційний простір об'єкту в системах ідентифікації. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, (4 (79)).
6. Димова, Г. О. (2021). Знаходження оптимальних значень функцій із застосуванням методу спряжених градієнтів. *Таврійський науковий вісник. Серія : Технічні науки* (3), 3–9. doi: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.1/>

REFERENCES:

1. Dymova H. O. (2020). *Metody i modeli uporyadkuvannya eksperymental'noyi informatsiyi dlya identyfikatsiyi i prohnozuvannya stanu bezperervnykh protsesiv: monohrafiya [Methods and models for ordering experimental information for identifying and predicting the state of continuous processes]* Kherson : Publishing house FOP Vyshemyrskyy V.S. [in Ukrainian].
2. Gudzenko, L. I. (1969). Nekotoryye voprosy struktury ob'yekta po ustanovivshemusya signalu [Some questions of the structure of the object on the basis of a steady signal]. *Proceedings of the Physical Institute named after P. N. Lebedeva*, 45, 110–133. [in Russian].
3. Hennan, E. (1974). *Mnogomernyye vremennyye ryady [Multidimensional Time Series]*. M. : Mir. [in Russian].
4. Tikhonov A. N. Goncharovskiy A. V., Stepanov V. V., Yagola A. G. (1983). *Regulyariziruyushchiye algoritmy i apriornaya informatsiya [Regularizing algorithms and a priori information]*. M. : Nauka. [in Russian].
5. Dymova H. O. (2021). Informatsiyyny prostir ob'yektu v systemakh identyfikatsiyi [Information space of the object in identification systems]. *Bulletin of the Kherson National Technical University*, (4 (79)). [in Ukrainian].
6. Dymova H. O. (2021). Znakhodzhennya optymal'nykh znachen' funktsiy iz zas-tosuvannyam metodu spryazhenykh hradiyentiv [Finding optimal values of functions using the conjugate gradient method]. *Taurian Scientific Bulletin. Series : Technical sciences* (3), 3–9. doi: https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.1 [in Ukrainian].