

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 165.325:001.5

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.231018.10.305

### ОБЛАСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНТРОПОМОРФНОЙ СИСТЕМЫ

ДУБРОВ Ю. И.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧУК В. Н.<sup>2</sup>, *д-р техн. наук, доц.*,

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>3</sup>, *д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

<sup>2</sup>Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>3</sup>Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

**Аннотация. Введение.** Большая часть систем, создаваемых нами, как правило, реализует антропоморфный принцип, приближенно воспроизводящий те или иные функции человеческого организма. Функции осуществляют целеполагание, планирование ресурсов, построение стратегии достижения целей и т. д. Поскольку данные принципы воспроизводят функции человеческого организма, постольку выживание является определяющим параметром антропоморфных систем. **Основная часть.** Интеллектуальная составляющая антропоморфной системы, в основном, проявляется в её многокритериальности, которая инициирует выбор, на каждом этапе функционирования, основного критерия из множества альтернативных, находящихся в границах ограничений. Выбор основного критерия, как правило, заключается в исследованиях моделей, в которых выживание является определяющим параметром, способствующим определению ошибочных вариантов выбора. Приведен пример конкретного применения антропоморфной системы, в которой выбор основного критерия становится более точным при его модификации посредством применения фрактального формализма. **Выводы.** Показан выбор области функционирования антропоморфной системы с применением фрактального подхода, что способствует ее идентификации.

**Ключевые слова:** антропоморфная система; сложная система; функция выживания; область компромисса; неоднородные критерии

### ОБЛАСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АНТРОПОМОРФНОЇ СИСТЕМИ

ДУБРОВ Ю. І.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧУК В. М.<sup>2</sup>, *д-р техн. наук, доц.*,

БОЛЬШАКОВ В. І.<sup>3</sup>, *д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

<sup>2</sup>Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>3</sup>Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

**Анотація. Вступ.** Більша частина систем, створюваних нами, як правило, реалізує антропоморфний принцип, що наближено відтворює ті або інші функції людського організму. Функції здійснюють цілепокладання, планування ресурсів, побудову стратегії досягнення цілей і т. д. Оскільки ці принципи відтворюють функції людського організму, остільки виживання постає визначальним параметром антропоморфних систем. **Основна частина.** Інтелектуальна складова антропоморфної системи, в основному, проявляється в її багатокритеріальності, яка ініціює вибір, на кожному етапі функціонування, основного критерію з безлічі альтернативних, що знаходяться в межах обмежень. Вибір основного критерію, як правило, полягає в дослідженнях моделей, в яких виживання постає визначальним параметром, що сприяє визначенню помилкових варіантів вибору. Наведено приклад конкретного застосування антропоморфної системи, в якій

виживання – адекватний вибір основного критерію з безлічі альтернативних. **Висновки.** Показано вибір області функціонування антропоморфної системи із застосуванням фрактального підходу, що сприяє її ідентифікації.

**Ключові слова:** антропоморфна система; складна система; функція виживання; область компромісу; неоднорідні критерії

## SCOPE OF ANTHROPOMORPHIC SYSTEM FUNCTIONING

DUBROV Yu. I.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

VOLCHUK V. N.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

BOL'SHAKOV V. I.<sup>3</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

<sup>1</sup>Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnepr, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

<sup>2</sup>Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnepr, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7199-192X

<sup>3</sup>Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnepr, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

**Annotation. Introduction.** The anthropomorphic principle, as a rule, is a big part of systems created by us approximately reproducing certain functions of the human body. Functions carry out goal-setting, resource planning, building a strategy for achieving goals, etc. Since these principles reproduce the functions of the human body, survival is the defining parameter of anthropomorphic systems. **Main part.** The intellectual component of the anthropomorphic system, mainly manifests in its multi-criteria, which initiates the selection, at each stage of operation, of the main criterion, from a variety of alternative ones that are within the limits of the restrictions. The choice of the main criterion, as a rule, consists in the research of models in which survival is a decisive parameter contributing to the determination of erroneous choices. An example of a specific application of an anthropomorphic system is given, in which the choice of the main criterion becomes more accurate with its modification through the application of fractal formalism. **Conclusions.** The choice of the scope of anthropomorphic system functioning is shown using the fractal approach, which contributes to its identification.

**Key words:** an anthropomorphic system; complex system; the survival function; a compromise area; the heterogeneous criteria

**Введение.** Более ста лет прошло с тех пор, когда человечество обратило внимание на то, что среди объектов, которые его окружают, есть такие, качество функционирования которых каким-либо единым показателем охарактеризовать невозможно. Так, например, качество производимого металла может характеризоваться его прочностью, вязкостью, упругостью, блеском и т. д. Причём эти показатели зачастую могут противоречить друг другу, в том смысле, что, улучшая один показатель, мы ухудшаем другой – например: прочность-пластичность, вязкость-хрупкость и др.

Аналогичным системам, дефиниция критерий<sup>1</sup> является определяющей. Согласно этому критерию системы подразделяются на простые и сложные

(СС)<sup>2</sup>. Качество функционирования систем вообще, а СС в частности, характеризуется и оценивается качественными и количественными критериями [2; 3]. Качественные критерии – это такие, которые могут иметь только два значения, например: в случае успеха – 1 и 0 – в противоположном случае. Количественно определяемые критерии – это такие, которые описывают результаты действий СС, характеризующиеся изменением значения

<sup>1</sup>Греческое *kriterion* обозначает признак, на основании которого производится оценка чего-либо.

<sup>2</sup>Под сложной системой мы понимаем систему с относительно большим числом переменных, сильно взаимосвязанных между собой, изменяющихся в относительно широком диапазоне случайным или непредсказуемым образом. В начале своего фундаментального труда [1] Г. Хакен отмечал, что системы могут быть сложными не только потому, что они состоят из большого числа частей, а еще и потому, что их отличает сложное поведение. Такое поведение, прежде всего, присуще системам, которые, как правило, имеют относительно большое число критериев, а также большое число взаимосвязанных между собой переменных, часть из которых зачастую изменяется случайным или непредсказуемым образом. Это предопределяет множественность возможных траекторий развития СС.

отдельного показателя, назначаемого в качестве критерия. Например, этой величиной может быть время, за которое атлет пробегает заданную дистанцию. Кажущаяся простота качественного критерия обманчива, поскольку функциональная зависимость его от неконтролируемых и случайных факторов может быть весьма сложной.

Объекты, для которых выбор критерия однозначно диктуется их целевой направленностью, встречаются сравнительно редко, поскольку, например, попытки формализовать эффективность какого-либо действия СС, как правило, выливаются в составление списка требований, состоящих из набора частных показателей эффективности (частных критериев). Задачи, постановка которых не может быть отражена в достижении какого-либо одного критерия, называют многокритериальными [4].

Типичной является задача оценки качества функционирования СС, которая проявляется в ее многокритериальности. В реальных задачах такого критерия, который бы удовлетворял всем требованиям, предъявляемым к СС, не существует. На практике подобные задачи пытаются решать путем «свертки» множества частных критериев в единый критерий, для чего применяют искусственный прием, в результате которого составляют из нескольких показателей (частных критериев) единый [2].

Основываясь на логике создания СС, приходим к выводу, о том, что основной оценкой функционирования СС является её **выживаемость**<sup>3</sup> [5].

**Основная часть.** Основываясь на принятом в медицине понятии **выживаемости** как способности организмов сохраняться в условиях воздействия неблагоприятных факторов, применим эту дефиницию с учётом того, что СС, создаваемая человеком, как правило,

включает как механизм, который она же и создаёт так и организм, управляющий<sup>4</sup> этим механизмом.

Если для организмов выживаемость – это средняя для популяции вероятность сохранения особей каждого поколения за определённый промежуток времени, то для механизма, например, такого как летательный аппарат, это свойство характеризует успешность выполнения боевых операций в условиях противодействия противника. Но мы должны согласиться с тем, что успешность выполнения, например, боевых операций, является следствием успешности действия как механизма, так и организма, им управляющего. В этой связи, для антропоморфных СС, исследователи вынуждены моделировать процессы, заключающиеся во взаимодействии механизмов и организмов. Однако при этом следует учитывать, что для СС, представляющих только живые организмы, анализ выживаемости моделируется процессами наступления терминальных (критических) событий для элементов какой-либо совокупности.

Как правило, анализ выживаемости живых организмов заключается в исследованиях моделей, описывающих данные о времени наступления события, при котором объект  $S$  прекращает существование. Вследствие этого, традиционно, в границах данного подхода рассматриваются лишь единичные и единовременные терминальные события.

При этом объект исследования –  $S$  описывается следующей функцией:  $S(t) = P(T > t)$ , где  $t$  – время, в ходе которого проводилось наблюдение за совокупностью  $T$ , которая является случайной величиной, обозначающей момент «покидания» объектом  $S$  совокупности  $T$ , а  $P$  означает вероятность «смерти» в заданном временном интервале. Таким образом, функция выживаемость описывает вероятность гибели объекта  $S$  некоторое время спустя, после момента  $t$ .

<sup>3</sup>Выживаемость (survival) - группа статистических методов, получившая соответствующее название вследствие их изначально широкого применения в медицинских исследованиях. Позднее данные методы стали применяться в страховой сфере и социальных науках.

<sup>4</sup>Такая СС является антропоморфной.

Предполагается, что  $S(0) = 1$ , хотя это значение может быть и меньше, чем 1, если есть вероятность немедленной неудачи. После чего функция выживания приобретает вид  $S(u) \leq S(t)$ . Эта особенность вытекает из того, что условие  $T > u$  подразумевает, что  $T > t$ . Здесь имеется в виду, что выживание для более позднего периода возможно только после выживания в ходе более раннего периода. Предполагается, что функция выживания  $S(t) \rightarrow 0$  при бесконечном возрастании переменной времени ( $t \rightarrow \infty$ ).

Данная формализация позволяет привести конкретный пример функционирования антропоморфной системы.

С этой целью принимаем, что выбор основного критерия, на каждом этапе функционирования антропоморфной системы, является первостепенной задачей, решаемой, как правило, путём прогнозирования<sup>5</sup> [1; 6].

Как это показано на рисунке, ограничения, налагаемые на альтернативные критерии антропоморфной системы, образуют в пространстве её состояний многогранник, который представляет область компромисса критериев [7; 8]. Принимаем, что выбор на каждом этапе функционирования антропоморфной системы любого критерия, за пределами области компромисса, приводит к её гибели. В зависимости от предпочтений к критериям, антропоморфная система выбирает точку в объеме многогранника, осуществляя тем самым назначение основного критерия.

Приведём реальный пример идентификации антропоморфной системы – объекта S, функция выживания которого  $S(u) \leq S(t)$ . Эта особенность вытекает из условия,  $T > t$ .

Данная антропоморфная система создавалась для управления технологией, при следовании которой необходимо решать проблему оперативной оценки качества массивных металлических отливок, в

частности, прокатных валков. Анализ традиционных методов прогноза качества, включая неразрушающий контроль, количественную металлографию, анализ математических моделей, показали, что эти методы относительно затратные и нередко приводят к результатам, расходящимся с требованиями нормативных документов.

Последнее связано с тем, что реализация наиболее очевидного, детерминированного подхода, применяемого для прогноза механических свойств валков, не представляется возможной, поскольку технология их производства является многопараметрической, и многокритериальной [9; 10]. К тому же, на качество материала валков оказывает значительное влияние большое количество параметров технологии, взаимосвязанных между собой (химический состав, легирующие элементы, условия охлаждения и т. д.). Незначительное изменение части параметров может существенно изменять свойства металла в относительно широком диапазоне. Задача прогноза показателей качества целевого продукта осложняется еще и тем, что по своей физической природе некоторые критерии качества зачастую противоречат друг другу в том смысле, что, улучшая один критерий, мы часто ухудшаем некоторые другие. Первоначальные значения критериев назначаются заказчиком. В производственных условиях выбирались валки исполнения СПХН (2,4 ÷ 3,85 % C; 0,2 ÷ 1,8 % Si; 0,1 ÷ 0,9 % Mn; 0,05 ÷ 0,4 % P; 0,05 ÷ 0,4 % S; 0,1 ÷ 0,8 % Cr; 0,2 ÷ 1,2 % Ni).

Из рабочего слоя бочек валков изготавливались тангенциальные образцы для механических испытаний. Результаты испытаний фиксировались в виде значений критериев: предел прочности на разрыв ( $\sigma_B$ ); предел прочности на изгиб ( $\sigma_{изг}$ ); твердость (HSD). При этом структура рабочего слоя соблюдалась следующая: перлит, графит, карбиды.

Область компромисса определялась назначением допустимых величин каждого критерия, при заданных значениях управляемых параметров (элементов химсостава, ограниченных ТУ 14-2-111188). Совместив

<sup>5</sup>Прогнозирования, часто осуществляемого экстраполяцией тенденций развития объекта идентификации.

графики зависимостей каждого критерия от выбранных параметров, получили область компромисса (см. рисунок).

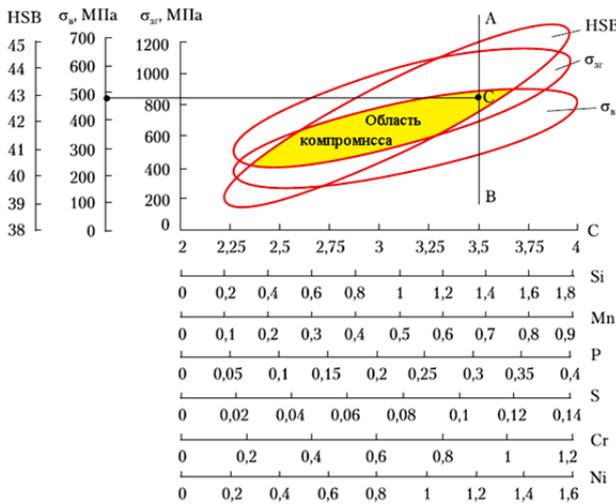


Рис. Область компромисса критериев

При бóльшем предпочтении к одному из компромиссных критериев (например, к пределу прочности – на рисунке точка С), проведя вертикаль АВ, можно осуществлять прогноз химсостава изделия. Как показал опыт, на практике такой подход удобно применять при прогнозировании состава изделия и его механических свойств в производственных условиях.

Следует отметить, что у антропоморфных систем предпочтение к критериям возникает при:

- определенном этапе функционирования антропоморфной системы, где предпочтения к критериям равно. В этом случае выбор основного критерия из ряда альтернативных, произвольный;
- предпочтения к критериям продиктованы заказчиком;
- предпочтение к конкретному критерию бóльшее, чем к остальным альтернативным критериям, поскольку выбор обоснован например, теоретически.

Одной из предпосылок такого обоснования может быть тот факт, что с позиций фрактального формализма [11-14] каждый критерий ассоциируется с присущим ему определяющим параметром [15]. Путём сравнения относительных величин областей

самоподобия определяющих параметров критериев выбирается тот критерий, у которого область самоподобия определяющего параметра относительно больше, чем у остальных критериев. Выбор такого критерия в качестве основного обеспечивает наиболее устойчивое функционирование антропоморфной системы за счёт относительно бóльшего диапазона допустимых изменений его определяющего параметра.

В частности, в приведенном примере:

- у критерия  $\sigma_B$  область самоподобия определяющего параметра изменяется от 200 до 500 МПа и определяется как:

$$K_1 = \frac{\sigma_{B \max} - \sigma_{B \min}}{\sigma_{B \max}} = \frac{\Delta\sigma_B}{\sigma_{B \max}} = \frac{300}{500} = 0,60;$$

- у критерия  $\sigma_{изг}$  область самоподобия –

$$K_2 = \frac{700}{1100} = 0,64;$$

- у критерия HSD –  $K_3 = \frac{7}{47} = 0,15$ .

Таким образом, альтернативные критерии по величине областей самоподобия распределялись:

1. Область самоподобия определяющего параметра критерия – предел прочности на изгиб – 0,64;
2. Область самоподобия определяющего параметра критерия – предел прочности на разрыв – 0,60;
3. Область самоподобия определяющего параметра критерия – твердость – 0,15.

Как следует из приведенных результатов, наблюдается почти полное сходство у двух близких по физической природе величин –  $\sigma_{изг}$  и  $\sigma_B$ , 0,64 и 0,60 соответственно. Этот факт свидетельствует о более устойчивом характере функционирования антропоморфной системы при её предпочтении к одному из соответствующих критериев.

**Выводы.** Таким образом, выбор основного критерия становится более точным при его модификации посредством применения фрактального формализма.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khaken G. *Sinergetika. Ierarkhiya neustojchivostej v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustrojstvakh* [Synergetics. The hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices]. Moscow: Mir, 1985, 424 p.
2. Germejer Yu.B. *Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsij* [Introduction to the theory of operations' research]. Moscow: Nauka, 1971, 383 p.
3. Dubrov Yu.I., Frolov V.V. and Vakhnin A.N. *Uchet vliyaniya neupravlyayemykh faktorov pri analize i sinteze kriteriya funktsionirovaniya slozhnykh sistem* [Consideration of the influence of uncontrollable factors in the analysis and synthesis of the criterion for the functioning of complex systems]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and mathematical methods]. Moscow: Akad. Nauk USSR, 1986, vol. 22, no. 1, pp 165–170. (in Russian).
4. Dubrov Yu.I. *Informatsionnaya "bednost" zadach ekologicheskogo prognozirovaniya i nekotorye puti yeye razresheniya* [Informational "poverty" of environmental forecasting tasks and some ways of its resolution]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2000, no. 1, pp. 191–197. (in Russian).
5. Bol'shakov V.I., Dubrov Yu.I. «*Samoorganizatsiya materiala*» kak protsess determinirovannoj adaptatsii [“Material self-organization” as a process of deterministic adaptation]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. Matematyka. Pryrodovnavstvo. Tekhnichni nauky* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. Mathematics. Natural science. Technical sciences]. Kyiv, 2004, no. 5, pp. 97–104. (in Russian).
6. Smirnov N.N. *Ekologiya biosfernoy katastrofy* [Ecology of the biosphere disaster]. Moscow: Znanie, 1988, 64 p.
7. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Sposob opredeleniya oblasti kompromissa kriteriev kachestva mnogokriterial'nykh tekhnologiy* [The way to determine the area of compromise quality criteria of multi-criteria technologies]. *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na tvir* [The certificate of registration of copyright for a work]. No. 53769. Available at: <http://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=11c1271e-eb9e-470a-ba8e-43b4e5301bee&title=OfitsiiniiBiuletentavtorskePravoIsumizhniPrava> [Accessed 8 February 2019]. (in Russian).
8. Volchuk V.N. *K opredeleniyu oblasti kompromissa kharakteristik kachestva materialov* [By identifying areas compromise performance materials quality]. *Metaloznnavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metallurgy and heat treatment of metals], 2015, no. 3, pp. 5–11. Available at: <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/23-30/54119>. [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
9. Bolshakov V.I., Volchuk V.M., Dubrov Yu.I. *Etapy identyfikatsii bahatoparmetrychnykh tekhnolohii ta shliakhy yikh realizatsii* [Stages multiparameter identification technologies and ways of their implementation]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2013, no. 8, pp. 66–72. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67873> [Accessed 6 February 2019]. (in Ukrainian).
10. Dubrov Yu., Bol'shakov V. and Volchuk V. *Puti identifikatsii periodicheskikh mnogokriterial'nykh tekhnologij na primere tekhnologii proizvodstva prokatnykh valkov* [The ways of identification of periodic multi-criteria technologies on the example of the production technology of mill rolls]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2015, 244 p. Available at: <https://www.palmarium-publishing.ru/#> [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
11. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S. and Orešković M. *Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism*. *Tehnički glasnik. Technical Journal*. 2018, vol. 12, no. 2, pp. 93–97. Available at: <https://hrcak.srce.hr/202359> [Accessed 8 February 2019].
12. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osnovy organizatsii fraktal'nogo modelirovaniya* [Fundamentals of fractal modeling]. Kiev: Akadempriodika, 2017, 170 p. (in Russian).
13. Bol'shakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. *Puti primeneniya teorii fraktalov* [Ways of applying the theory of fractals]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016, 156 p. Available at: <https://www.morebooks.de/store/gb/book/%D0%9F%D1%83%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8-%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2/isbn/978-3-659-72264-6> [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
14. Bolshakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. *Fractals and properties of materials*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016, 140 p. Available at: <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/tr/book/978-3-330-01812-9/fractals-and-properties-of-materials?search=Fractals> [Accessed 7 February 2019].
15. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Fraktal'nyj podkhod pri identifikatsii slozhnykh sistem* [Fractal approach to the identification of complex systems]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. Materialoznavstvo* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. Materials science]. Kyiv, 2017, no. 6, pp. 46–50. Available at: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.046> [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).

## REFERENCES

1. Khaken G. *Sinergetika. Ierarkhiya neustojchivostej v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustrojstvakh* [Synergetics. The hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices]. Moscow: Mir, 1985, 424 p.
2. Germejer Yu.B. *Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsij* [Introduction to the theory of operations' research]. Moscow: Nauka, 1971, 383 p.
3. Dubrov Yu.I., Frolov V.V. and Vakhnin A.N. *Uchet vliyaniya neupravlyayemykh faktorov pri analize i sinteze kriteriya funktsionirovaniya slozhnykh sistem* [Consideration of the influence of uncontrollable factors in the analysis and synthesis of the criterion for the functioning of complex systems]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and mathematical methods]. Moscow: Akad. Nauk USSR, 1986, vol. 22, no. 1, pp 165–170. (in Russian).
4. Dubrov Yu.I. *Informatsionnaya "bednost'" zadach ekologicheskogo prognozirovaniya i nekotorye puti yeye razresheniya* [Informational "poverty" of environmental forecasting tasks and some ways of its resolution]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2000, no. 1, pp. 191–197. (in Russian).
5. Bol'shakov V.I., Dubrov Yu.I. «*Samoorganizatsiya materiala*» kak protsess determinirovannoy adaptatsii [“Material self-organization” as a process of deterministic adaptation]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. Matematika. Pryrodoznavstvo. Tekhnichni nauky* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. Mathematics. Natural science. Technical sciences]. Kyiv, 2004, no. 5, pp. 97–104. (in Russian).
6. Smirnov N.N. *Ekologiya biosfernoy katastrofy* [Ecology of the biosphere disaster]. Moscow: Znanie, 1988, 64 p.
7. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Sposob opredeleniya oblasti kompromissa kriteriev kachestva mnogokriterial'nykh tekhnologiy* [The way to determine the area of compromise quality criteria of multi-criteria technologies]. *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na tvir* [The certificate of registration of copyright for a work]. No. 53769. Available at: <http://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=11c1271e-eb9e-470a-ba8e-43b4e5301bee&title=OfitsiiniiBiuletenavtorskePravoIsumizhniPrava>. [Accessed 8 February 2019]. (in Russian).
8. Volchuk V.N. *K opredeleniyu oblasti kompromissa kharakteristik kachestva materialov* [By identifying areas compromise performance materials quality]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metallurgy and heat treatment of metals], 2015, no. 3, pp. 5–11. Available at: <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/23-30/54119>. [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
9. Bolshakov V.I., Volchuk V.M., Dubrov Yu.I. *Etapy identyfikatsii bahatoparametrychnykh tekhnologii ta shliakhy yikh realizatsii* [Stages multiparameter identification technologies and ways of their implementation]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2013, no. 8, pp. 66–72. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67873>. [Accessed 6 February 2019]. (in Ukrainian).
10. Dubrov Yu., Bol'shakov V. and Volchuk V. *Puti identifikatsii periodicheskikh mnogokriterial'nykh tekhnologiy na primere tekhnologii proizvodstva prokatnykh valkov* [The ways of identification of periodic multi-criteria technologies on the example of the production technology of mill rolls]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2015, 244 p. Available at: <https://www.palmarium-publishing.ru/#>. [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
11. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S. and Orešković M. *Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism*. *Tehnički glasnik. Technical Journal*. 2018, vol. 12, no. 2, pp. 93–97. Available at: <https://hrcak.srce.hr/202359>. [Accessed 8 February 2019].
12. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osnovy organizatsii fraktal'nogo modelirovaniya* [Fundamentals of fractal modeling]. Kiev: Akadempriodika, 2017, 170 p. (in Russian).
13. Bol'shakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. *Puti primeneniya teorii fraktalov* [Ways of applying the theory of fractals]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016, 156 p. Available at: <https://www.morebooks.de/store/gb/book/%D0%9F%D1%83%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8-%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2/isbn/978-3-659-72264-6>. [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).
14. Bolshakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. *Fractals and properties of materials*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016, 140 p. Available at: <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/tr/book/978-3-330-01812-9/fractals-and-properties-of-materials?search=Fractals>. [Accessed 7 February 2019].
15. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Fraktal'nyi podkhod pri identifikatsii slozhnykh sistem* [Fractal approach to the identification of complex systems]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. Materialoznavstvo* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. Materials science]. Kyiv, 2017, no. 6, pp. 46–50. Available at: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.046>. [Accessed 7 February 2019]. (in Russian).

Рецензент: Башиев В. Ф., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 01.07.2018 р.