

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 165.325:001.5

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.231018.10.305

ОБЛАСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНТРОПОМОРФНОЙ СИСТЕМЫ

ДУБРОВ Ю. И.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧУК В. Н.², *д-р техн. наук, доц.*,

БОЛЬШАКОВ В. И.³, *д-р техн. наук, проф.*

¹Кафедра 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

²Кафедра 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

³Кафедра 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.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧУК В. М.², *д-р техн. наук, доц.*,

БОЛЬШАКОВ В. І.³, *д-р техн. наук, проф.*

¹Кафедра 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

²Кафедра 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

³Кафедра 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.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

VOLCHUK V. N.², *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

BOL'SHAKOV V. I.³, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹Department 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

²Department 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

³Department 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 критерий¹ является определяющей. Согласно этому критерию системы подразделяются на простые и сложные

(СС)². 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

²Под 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.

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

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**³ [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, управляющий⁴ 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 .

³Выживаемость (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.

⁴Такая 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 прогнозирования⁵ [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 % С; 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 (σ_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

⁵Прогнозирования, часто осуществляемого экстраполяцией тенденций развития объекта идентификации.

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

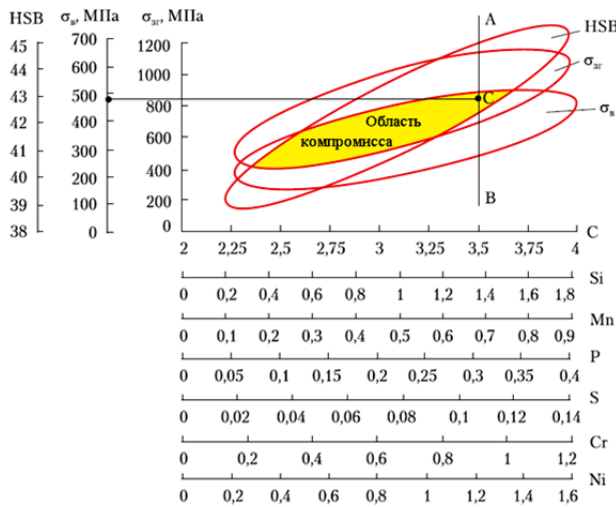


Рис. Область компромисса критериев

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 σ_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 σ_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=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]. *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 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'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 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 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.