

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 519.21

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.ДУБРОВ Ю. И.<sup>2\*</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

**Аннотация.** 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 задачей 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, что основной оценкой функционирования СС является её **выживаемость** [5]. 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 механизм, который она же и создаёт, так и организм, управляющий этим механизмом.

Если для организмов выживаемость – это средняя для популяции вероятность сохранения особей каждого поколения за определённый промежуток времени [5], то для механизма, например, для летательного аппарата, это свойство характеризует успешность выполнения боевых операций в условиях противодействия противника. В этой связи для антропоморфных СС исследователи вынуждены моделировать процессы, заключающиеся во взаимодействии механизмов и организмов. Однако следует учитывать, что для СС, представляющих только живые организмы, анализ **выживаемости** моделируется процессами наступления терминальных (критических) событий для элементов какой-либо совокупности.

Применение данного подхода в производственных условиях позволяет проводить прогноз химического состава изделия и его механических свойств с минимальными материально-временными затратами.

**Ключевые слова:** антропоморфная система, качественные критерии, сложная система, чугунные валки, область компромисса.

## ПРО СТІЙКІСТЬ ЛЮДИНО-МАШИНИХ СИСТЕМ

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, д. т. н., проф.ДУБРОВ Ю. И.<sup>2\*</sup>, д. т. н., проф.

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

**Анотація.** Об'єкти, для яких вибір критерію однозначно диктується їх цільовим призначенням, трапляються досить рідко, оскільки, наприклад, спроби формалізувати ефективність будь-якої дії СС, як правило, виливаються в складання списку вимог, що включають набір окремих показників ефективності (критеріїв). Завдання, постановка яких не може бути відображена в досягненні якогось одного критерію, називають багатокритеріальними [4].

Типовим завданням є оцінювання якості функціонування СС, яка проявляється в її багатокритеріальності. У реальних задачах такого критерію, який би задовольняв усім вимогам, що пред'являються до СС, не існує. На практиці подібні задачі намагаються шляхом «згортання» безлічі окремих критеріїв у єдиний критерій, для чого застосовують штучний прийом, у результаті якого складають із декількох показників (окремих критеріїв) єдиний [2].

Дотримуючись логіки створення СС, доходимо висновку, що основною оцінкою функціонування СС є «виживання» [5]. Застосовуючи прийняте в медицині поняття «виживання» – здатність організмів зберігатися в умовах впливу несприятливих факторів, застосуємо цю дефініцію з урахуванням того, що СС, створена людиною, як правило, включає механізм, який вона ж і створює, так і організм, що керує цим механізмом.

Якщо для організмів виживання – це середня для популяції ймовірність збереження особин кожного покоління за певний проміжок часу [5], то для механізму, наприклад, для літального апарату, ця властивість характеризує успішність виконання бойових операцій в умовах протидії супротивнику. У цьому зв'язку, для антропоморфних СС дослідники змушені моделювати процеси, які полягають у взаємодії механізмів та організмів. Проте слід урахувати, які для СС, що представляють лише живі організми, аналіз виживання моделюється процесами настання термінальних (критичних) подій для елементів будь-якої сукупності.

Застосування даного підходу у виробничих умовах дозволяє проводити прогноз хімічного складу виробу і його механічних властивостей виробу з мінімальними матеріально-часовими витратами.

**Ключові слова:** антропоморфна система, якісні критерії, складна система, чавунні валки, область компромісу.

## THE STABILITY OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS

BOLSHAKOV V. I.<sup>1</sup> Dr. Sc. (Tech.), Prof.

DUBROV U. I.<sup>2\*</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., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshkov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Department of Materials Science, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

**Summary.** The objects for which the criterion selection clearly is dictated by their target areas are relatively rare because, the attempts to formalize the effectiveness of any action of the SS for example, are drown up in a list of requirements, as a rule, consisting of a set of private performance indicators (partial criteria). Problem which formulation can not be reflected in the achievement of any one criterion, are called multicriteria [4].

A typical problem is the problem of the quality assessing of the functioning of the SS, showing its multicriteriality. There is no such criterion in the real problem, solving all of requirements presented to SS. In practice such problems try to solve by the “folding” of many private criterion to single criterion, which used artifice, as a result some indicators are composed the single.

Based on the logic of the creation of the SS, we conclude that the main assessment of the operation, of the SS is its survival [5]. Based on medically accepted notion of survival, as the ability of organisms to survive under the impact of adverse factors this definition apply in view of the fact that the SS, creating of man, includes a mechanism as a rule which is created by its and the organism this mechanism controlling.

If fir organism survival is the average of the population probability of individual of every generation for define of time interval, but for mechanism for a lethal apparatus in the condition opponent opposition. So researchers should model the process for anthropomorphic SS, consisting on organism mechanism interaction. However it should be known that for SS, survival analysis is modeled by process of getting terminal evident for elements of any totality, representing living organisms only.

Use of present approach, allow to do chemical condition prognosis of wares and its mechanical properties of wares with a minimum of material and time-consuming in production condition.

**Keywords:** anthropomorphic system, qualitative criteria, complex system, cast iron rolls, area of compromise.

Существуют объекты, 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. Для аналогичных систем дефиниция критерий<sup>1</sup> является определяющей. Согласно этому критерию, системы подразделяются на простые системы и сложные системы (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. Примером применения такого критерия может быть оценка жестокой дуэли типа «русской рулетки». В этой дуэли в качестве основного условия принимается обязательная гибель одного из дуэлянтов. Количественно определяемые критерии это такие, которые описывают результаты действий СС, характеризующиеся изменением значения 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

<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.

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 задачей 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, что основной оценкой функционирования СС является её **выживаемость**<sup>3</sup> [5]. 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 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 [5], то для механизма, например, для летательного

<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.

аппарата, 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 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 одновременные терминальные события.

При этом объект  $S$  описывается следующей функцией  $S(t) = P(T > t)$ , где  $t$  – это 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 **выживания** описывает вероятность гибели некоторое время спустя, после момента  $t$ .

Обычно 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  $T > t$ . По сути, здесь подразумевается, что **выживание** для более позднего периода возможно только после **выживания** в ходе более раннего периода. Предполагается, что функция **выживания**  $S(t) \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ .

В работе [5] показано, что модели **выживания** могут быть содержательно

представлены в виде моделей линейной регрессии, поскольку все распределения могут быть сведены к линейным с помощью подходящих преобразований.

Таким образом, исследования антропоморфной системы на её **выживание** должно включать совокупность моделей живой и неживой (технической) систем. Для этого обратимся к науке бионике, способной оказать помощь инженерам в поиске новых технических решений путем имитации процессов функционирования живых организмов. В этом месте мы сталкиваемся с относительными морфизмами, поскольку при этом изучаются различные физические и метрические отношения. Общим для всех этих случаев является то, что у изоморфных объектов часто наблюдается образование различных статических и динамических структур, необходимых для их **выживания** в установленной среде.

Проводя аналогию между процессами, влияющими на **выживаемость** живых организмов, и процессами, влияющими на **устойчивое функционирование** антропоморфных систем, исследуем гипотетическую модель многокритериальной СС с учётом того, что, как правило, ко всем задачам, которые стоят перед СС, прежде всего, ставится основная задача – выбор из множества альтернативных целей той цели, которая в сложившейся ситуации представляет самую предпочтительную – основную цель, достижение которой улучшает **выживаемость** СС. Механизм выбора цели, который применяет человек, вероятно, основывается на прогнозе будущего своего состояния, связанного с выбором этой цели [1; 6].

Принимаем, что ограничения, которые налагаются на критерии для того, чтобы цели не выходили за допустимые пределы, “вырезают” в пространстве состояний СС многогранник  $M$ , который представляет результат пересечения допустимых значений частных критериев. Зона пересечения допустимых областей является областью компромисса (ОК) альтернативных (частных) критериев. Принимаем, что для того, чтобы СС находилась в ОК, пользователю достаточно назначить

координаты точки, расположенной в объёме многогранника М. Естественно, что пользователь, в зависимости от его предпочтения к критериям, будет выбирать координаты этой точки только в объёме многогранника М.

Согласно постановке задачи, за пределами ОК СС погибает. Вследствие этого, задачу назначения единого критерия СС из множества альтернативных критериев можно интерпретировать как установление в объёме многогранника М некоторой точки С, координаты которой соответствуют определённым численным значениям частных критериев. Если точка С равноудалена от граней (критериев) многогранника М, эту точку будем называть идеалом ОК, при этом полагаем, что для реальных СС идеал ОК едва ли достигим, но его виртуальное существование создаёт возможность выбора точки С, допустимо приближенной к идеалу. Ещё раз отметим, что положение точки С за пределами объема многогранника М свидетельствует о гибели СС.

Особенность выбора единого критерия СС из множества альтернативных критериев заключается в необходимости назначения общей для всех альтернативных (частных) критериев меры, применяемой для определения влияния каждого альтернативного критерия на **выживаемость** СС. Такой мерой могут быть затраты (времени, ресурсов и т. д.).

Например, в материаловедении всегда существовала задача получения желаемых физических, химических, механических и других свойств  $w_i (i = 1, \dots, n)$ , приобретаемых при производстве этих изделий [7]. Каждому свойству, из множества известных свойств, соответствует определенный критерий  $w_{i,r}^* (r = 1, \dots, s) \in w_i$ , по которому **оценивается** качество металла, а также технологичность или экономичность его производства. Таким образом, есть  $w_i (i = 1, \dots, n)$  – множество качественно неоднородных критериев

включающих подмножество  $\{w_{i,r}^* (r = 1, \dots, s)\}$  качественно однородных критериев<sup>1</sup>.

Например, в [8] приведен неполный перечень качественно неоднородных критериев, часть из которых характеризует физические, химические, технологические, механические и экономические качества<sup>3</sup> получаемого металла. Желаемые показатели частных критериев чаще всего диктуются заказчиком, устанавливающим допустимые значения каждого критерия.

Как мы уже отмечали, ограничения, налагаемые на частные критерии, “вырезают” в пространстве состояний СС область, называемую областью компромисса, выход за пределы которой, по условию, приводит к гибели СС. Покажем это на конкретном примере.

На сегодняшний день остро стоит проблема оперативной оценки качества массивных металлических отливок, в частности, прокатных валков. Анализ традиционных методов прогноза их качества, включая неразрушающий контроль, количественную металлографию, и анализ математических моделей, базирующихся, в основном, на статистических данных, показали, что эти методы сравнительно затратные и нередко приводят к результатам, расходящимся с требованиями ГОСТов. Это связано с тем, что реализовать наиболее очевидный, детерминированный подход, применяемый для оценки механических свойств валков, основанный на анализе причинно-следственных связей и отношений, не представляется возможным, поскольку технология их производства является многопараметрической и многокритериальной.

Вследствие этого на качество металла оказывает значительное влияние большое количество параметров технологии (химического

<sup>1</sup> Например,  $w_1$  может выступать в качестве множества показателей механических свойств металла, таких как прочность –

$w_{1,1}^*$ , пластичность  $w_{1,2}^*$  и т. д., а  $w_2$  может выступать в качестве множества экономических показателей, таких как, например, прибыль  $w_{2,1}^*$ , себестоимость  $w_{2,2}^*$  и т. д.

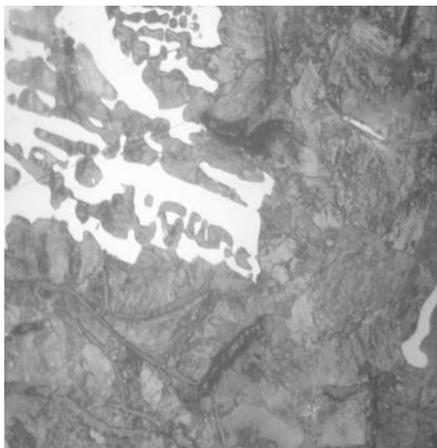
<sup>3</sup> Ниже мы будем называть любой критерий из этого множества частным критерием.

состава, легирующих элементов, условий охлаждения и др.), сильно взаимосвязанных между собой. Даже незначительные изменение части этих переменных изменяют свойства металла в относительно широком диапазоне.

Задача идентификации качества целевого продукта осложняется еще и тем, что по своей физической природе некоторые критерии зачастую противоречат друг другу. Улучшая один критерий, мы часто ухудшаем другой. Большинство альтернативных критериев назначаются в допустимых, относительно малых интервалах, оказывающих сравнительно небольшое влияние на величину этих критериев. Вероятно, это продиктовано тем, что разработчики технологического

процесса, стремясь выдержать его, насколько это возможно, в конкретно заданной области параметров технологии, устанавливают предельные значения этих критериев. Область, в которой критерии допустимо противоречат друг другу, назовем **ОК критериев**, выход за пределы которой нарушает **выживаемость** СС.

В качестве примера объектом исследования были выбраны чугуны марки 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 (рис. 1) изготавливались тангенциальные образцы для механических испытаний.



а



б

Рис. 1. Структура бочки валка марки СПХН-49 после травления в  $\text{HNO}_3$  (а) и до травления (б) на расстоянии 20 мм от поверхности: перлит, графит и карбиды,  $\times 200$

Для выявления ОК были получены графики зависимости каждого частного критерия от каждого параметра.

Определение ОК производится посредством назначения допустимых значений каждого критерия, а также предельных значений управляемых переменных (элементов химсостава, ограниченных ТУ 14-2-1188) и представленных в едином масштабе [9]. Если наложить друг на друга графики зависимости каждого критерия от выбранного параметра, то область пересечения всех графиков представит зону, в которой каждый

критерий, будет удовлетворять требованиям технологии. При наложении этих графиков получают ОК свойств. В данном случае под ОК понимается такое сочетание элементов химического состава, которое позволяет получить допустимое сочетание свойств целевого продукта, в противном случае продукт отбраковывается.

На рисунке 2 приведена область субкомпромисса механических свойств исследуемых валков в зависимости от химического состава.

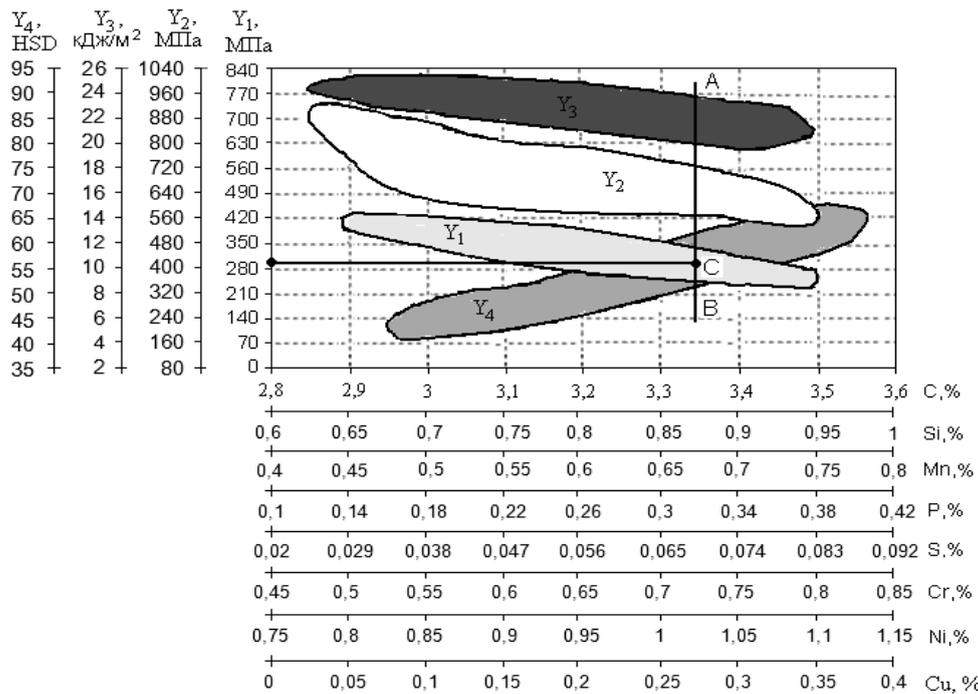


Рис. 2. ОК механических свойств рабочей зоны бочек чугуных прокатных валков исполнения СПХН в зависимости от их химического состава:  $Y_1 \approx 220 \div 380$  МПа,  $Y_2 \approx 390 \div 840$  МПа,  $Y_3 \approx 8 \div 25$  кДж/м<sup>2</sup>,  $Y_4 \approx 40 \div 70$  HSD с учетом всего диапазона применяемых степеней охлаждения в металлической форме

При наличии предпочтения к одному из механических свойств (например, к пределу прочности – на рисунке точка С), проведя вертикаль АВ через указанную область субкомпромисса можно прогнозировать химический состав изделия и интервал существования его механических свойств.

**Выводы.** Применение данного подхода в производственных условиях позволяет проводить прогноз химического состава изделия и его механических свойств изделия с минимальными материально-временными затратами.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – Москва : Мир, 1985. – 424 с.
2. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций / Ю. Б. Гермейер. – Москва : Наука, 1971. – 383 с.
3. Дубров Ю. И. Учет влияния неуправляемых факторов при анализе и синтезе критерия функционирования сложных систем / Ю. И. Дубров, В. В. Фролов, А. Н. Вахнин // Экономика и математические методы. – 1986. – № 1. – С. 165–170.
4. Дубров Ю. И. Информационная «бедность» задач экологического прогнозирования и некоторые пути ее разрешения / Ю. И. Дубров // Доповіди Національної академії наук України. – 2000. – № 1. – С. 191–197.
5. Халафян А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – Москва : Бинوم, 2009. – 528 с.
6. Смирнов Н. Н. Экология биосферной катастрофы / Н. Н. Смирнов – Москва : Знание, 1988. – 64 с.
7. Большаков В. И. Решение многокритериальной задачи металловедения с качественно неоднородными критериями / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіди Національної академії наук України. – 2004. – № 11. – С. 95–102.
8. Большаков В. И. Материалознаство / В. И. Большаков, О. Ю. Береза, О. Ю. Миронова, В. И. Харченко. – Канада : Базіліан Пресс, 1998. – 219 с.
9. Способ определения области компромисса критериев качества многокритериальных технологий : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 53769 від 18.02.2014 р. / Большаков В. И., Волчук В. М., Дубров Ю. И. – 1 с.

## REFERENCES

1. Haken G. *Sinergetika. Ierarhiya neustoichevostey v samoorganizuyushchih systemah i ustroistvah* [Synergetics [The hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices]. Moscow, Mir, 1985. 426 p. (in Russian).
2. Germeier Yu. B. *Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsiy* [Introduction to operations research]. Moscow, Nauka, 1985. 383 p. (in Russian).
3. Dubrov Yu. I., Frolov V.V., Vakhin A.N. Uchet vliyaniya neupravlyaemykh faktorov pri analize i sinteze kriteriya funktsionirovaniya slozhnykh system [Accounting of influence of uncontrollable factors in the analysis and synthesis of complex systems criterion]. *Ekonomika i matematicheskie metody* - Economics and mathematical methods, 1986, no. 1, pp. 165-170. (in Russian).
4. Dubrov Yu. I. *Informatsionnaya bednost' zadach ekologicheskogo prognozirovaniya i nekotoryeputi ee razresheniya* [Information "poverty" ecological forecasting problems and some ways to resolve it]. *Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukrainy* –Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine.2000, no.1, pp. 191-197. (in Russian).
5. Halafyan A. A. *Statistika 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistics 6. Statistical analysis of data]. Moscow, Binom, 2009. 528 p. (in Russian).
6. Smirnov N. N. *Ekologiya biosfernoy katastrofy* [Ecology biospheric catastrophe]. Moscow, Znanie, 1988. 64 p. (in Russian).
7. Bol'shakov V. I., Dubrov Yu. I. *Reshenie mnogokriterial'noy zadachi metalovedeniya s kachestvenno neodnorodnymi kriteriyami* [Multicriteria decision problem of metallurgy with qualitatively heterogeneous criteria]. *Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukrainy* –Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2004, no.11, pp. 95-102. (in Russian).
8. Bol'shakov V. I., Bereza O.Yu., Mironova O.Yu., Kharchenko V.I. *Materialoznavstvo* [Materials Science]. Kanada, Bazilian Press, 1998, 219 p. (in Ukrainian).
9. Bol'shakov V. I., Volchuk V.M., Dubrov Yu.I. *Sposob opredeleniya oblasti kompromissa kriteriev kachestva mnogokriterial'nykh tehnologiy: svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na tvir № 53769 vid 18.02.2014* . [A method for determining of the area of compromise quality criteria multicriteria techniques: certificate of registration of copyright. No. 53769 dated 18.02.2014]. (in Russian).