

УДК 519.21

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ КОМПРОМИССА КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
ФОРТЫГИН А. А.^{2*}, студ.

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

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: fortigin13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9838-5911

Аннотация. Постановка задачи. На сегодняшний день актуальной является оперативная оценка качества механических свойств металлических изделий, в частности, трубной продукции. Традиционные методы определения механических свойств, не исключая методы неразрушающего контроля, анализа математических моделей, показали, что они являются затратными, при этом иногда наблюдаются результаты, расходящиеся с требованиями нормативных документов. Поэтому целесообразно определять механические свойства, если это возможно, без применения натуральных экспериментов. **Объект исследования.** Объектом исследования служила трубная сталь марки 20, актуальность использования которой объясняется ее широкой распространенностью в промышленности благодаря тому, что она относится к классу среднеуглеродистых и имеет ферритно-перлитную структуру. **Материалы и методики исследований.** Сталь 20 качественная, т. е. имеет сниженное содержание вредных элементов: серы и фосфора без ограничений по свариваемости. Для получения сведений о качестве стали были изготовлены металлографические шлифы. **Результаты и их обсуждение.** Определенные области компромисса механических свойств труб в зависимости от химического состава представлены на полученных графиках, отображающих зависимости каждой функции цели от каждого параметра. В качестве переменных были выбраны элементы химического состава, а в качестве критериев – следующие механические свойства: предел прочности на разрыв, предел текучести и относительное удлинение. Критерии выбраны те, которые наиболее часто фигурируют при приемо-сдаточных работах и являются основными характеристиками прочностных свойств. В данном случае были подобраны элементы химического состава, которые позволяют добиваться наилучшего сочетания механических свойств. Область субкомпромисса для выбранных критериев определена графоаналитическим методом, заключающимся в нормированном представлении переменных, приведенных в процентах. Выбранные критерии описывают рабочие области механических свойств труб. Если у пользователя есть предпочтение к одному из механических свойств, можно определять химический состав изделия и прогнозировать интервал существования его механических свойств. **Выводы.** Как показал опыт, на практике такой подход удобно применять при прогнозировании химического состава изделия и его механических свойств в производственных условиях.

Ключевые слова: сталь; механические свойства; структура; область компромисса; прогноз

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ КОМПРОМІСУ КРИТЕРІЇВ ЯКОСТІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
ФОРТИГІН А. А.^{2*}, студ.

¹ Кафедра металознавства 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

^{2*} Кафедра металознавства 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: fortigin13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9838-5911

Анотація. Постановка завдання. Наразі актуальна оперативна оцінка якості механічних властивостей металевих виробів, зокрема, трубної продукції. Традиційні методи визначення механічних властивостей, не виключаючи методи неруйнівного контролю, аналізу математичних моделей, показав, що ці методи витратні, при цьому іноді спостерігаються результати, які суперечать вимогам нормативних документів. Тому доцільно визначати механічні властивості, якщо це можливо, без застосування натурних експериментів. **Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження служила трубна сталь марки 20, актуальність використання якої пояснюється її широкою поширеністю в промисловості, завдяки тому, що вона належить до середньовуглецевого класу і має феритно-перлітну структуру. **Матеріали і методики досліджень.** Сталь 20 якісна, тобто має знижений вміст шкідливих елементів: сірки і фосфору без обмежень по зварюваності. Для отримання відомостей про якість сталі виготовили металографічні шлифи. **Результати та їх обговорення.** Визначені області

компромісу механічних властивостей труб залежно від хімічного складу наведені на отриманих графіках, що відображають залежності кожної функції мети від кожного параметра. Як змінні були обрані елементи хімічного складу, а як критерії обрано такі механічні властивості: межа міцності на розрив, межа плинності і відносне подовження. Критерії обрані ті, які на частіше фігурують у прийнятно-здавальних роботах і є основними характеристиками міцності властивостей. В даному випадку були підбрані елементи хімічного складу, які дозволяють домагатися найкращого поєднання механічних властивостей. Визначено область субкомпромісу для обраних критеріїв визначена графоаналітичним методом, що полягає в нормованому поданні змінних, наведених у відсотках. Вибрані критерії описують робочі області механічних властивостей труб. Якщо користувач схильний до однієї з механічних властивостей, можна визначати хімічний склад виробу і прогнозувати інтервал існування його механічних властивостей. **Висновки.** Як показав досвід, на практиці такий підхід зручно застосовувати для прогнозування хімічного складу виробу і його механічних властивостей у виробничих умовах.

Ключові слова: сталь; механічні властивості структур; область компромісу; прогноз

THE FIELD DETERMINING METHOD OF THE QUALITY CRITERIA COMPROMISE OF MULTICRITERIA TECHNOLOGY

*BOLSHAKOV V.I.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
FORTIGIN A. A.², student*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: fortigin13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9838-5911

Summary. Formulation of the problem. Today is the actual assessment of the operational quality of the mechanical properties of metal products, such as tubular products. Traditional methods for determining the mechanical properties, not excluding the non-destructive testing methods, the analysis of mathematical models showed that these methods are costly, and the results are sometimes observed at variance with the requirements of regulatory documents. Therefore, it is advisable to determine the mechanical properties, if possible, without the use of field experiments. **Object of study.** The object of the study served as a pipe steel grade 20, the relevance of which use due to its prevalence in the industry, because it belongs to the class of medium-carbon, and has a ferrite-pearlite structure. **Materials and methods of research.** Steel 20 quality, ie, it has a reduced content of harmful elements, phosphorus and sulfur without restrictions on weldability. For information about the quality of steel it was used a method of making metallographic polished sections. **Results and its discussion.** Compromise the mechanical properties of the field, which depends on the chemical composition are shown in the graphs obtained by displaying each function depending on the purpose of each parameter. The variables of the chemical composition of elements were selected and the criteria are selected as the following mechanical properties: tensile strength, yield strength and elongation. Criteria are selected those that most frequently appear at the acceptance and work are the main characteristics of strength properties. In this case, the chemical composition of elements were selected, which allow to achieve the best combination of mechanical properties. The certain subcompromise area for the selected criteria, which define a graph-analytic method is the normalized representation of the variables given in percentages. Selected criteria describe the working area of the mechanical properties of pipes. If a user has a preference for one of the mechanical properties, it is possible to determine the chemical composition of products and forecast interval of existence of its mechanical properties. **Conclusions.** The experience has shown that, in practice, this approach is useful when predicting the chemical composition of the product and its mechanical properties in a production environment.

Keywords: steel; mechanical properties; structure; compromise area forecast

Постановка задачи

На сегодняшний день актуальной является оперативная оценка качества механических свойств металлических изделий [1–7], в частности, трубной продукции. Традиционные методы определения механических свойств, не исключая методы неразрушающего контроля, анализа математических моделей, показан, что они затратные, при этом иногда наблюдаются результаты, расходящиеся с требованиями нормативных документов. Поэтому целесообразно определять механические свойства,

если это возможно, без применения натуральных экспериментов.

Каждый компонент стали имеет характерный вид, что позволяет анализировать микроструктуру. К микроскопическим компонентам относятся следующие фазы: феррит, аустенит, цементит и неотпущенный мартенсит; смеси фаз – перлит, бейнит и отпущенный мартенсит. Механические свойства стали в значительной степени определяются именно ее микроструктурой.

Объект исследования

Объектом исследования служила трубная сталь марки 20, актуальность использования которой объясняется ее широкой распространенностью в промышленности благодаря тому, что она относится к среднеуглеродистому классу и имеет ферритно-перлитную структуру.

Материалы и методики исследований

Сталь 20 качественная, т. е. имеет сниженное содержание вредных элементов: серы и фосфора без ограничений по свариваемости. Оптимальное сочетание прочности и пластичности делает ее универсальным материалом для производства трубного проката, деталей, подвергаемых последующей термомеханической и термохимической обработке. Сталь 20, свойства которой

могут изменяться в относительно больших пределах с помощью химико-термической, термомеханической обработки, наиболее востребована в трубном производстве при изготовлении деталей с твердой поверхностью и мягкой серединой. Это могут быть валы, звездочки, передачи, болты, крюки кранов, арматура, листы для штампования (профнастил), гайки и болты для неотвественного крепления. Изготавливаемые трубы из такой марки стали применяют для передачи газов, пара, неагрессивных жидкостей, подающихся под давлением. Это трубы перегревателей, трубопроводов, котлов высокого давления и коллекторов. Химический состав и основные механические свойства стали 20 приведены в таблице.

Таблица

Химический состав и механические свойства стали 20 /
Chemical composition and mechanical properties of steel 20

C	Si	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17–0,24	0,17–0,37	431	255	22	0,35–0,65	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

Для получения сведений о качестве стали был применен способ изготовления металлографических шлифов, согласно которому образец очищают от поверхностных загрязнений, шлифуют и полируют. Подготовленную таким образом поверхность подвергают химическому травлению. При этом, из-за разной скорости травления участков поверхности с различными структурно-

фазовыми состояниями, на поверхности шлифа появляется характерный для каждого конкретного образца микрорельеф, анализируя который, можно сделать заключение о качестве материала. Этот способ подготовки шлифов достаточно трудоемок и длителен. Были получены следующие изображения микроструктуры (рис. 1):

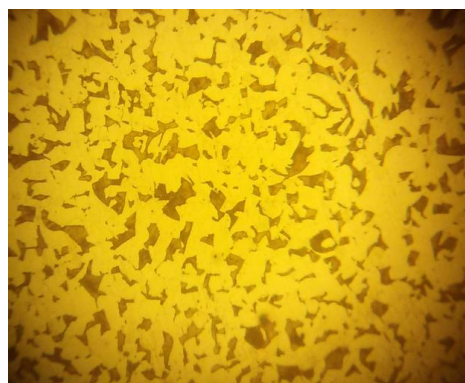
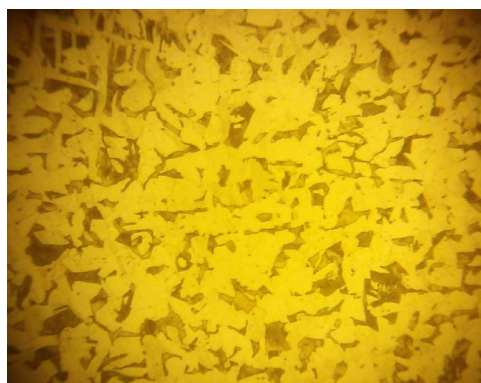


Рис. 1. Структура трубной стали марки 20, $\times 100$ /
Fig. 1. Structure of tubular steel 20, $\times 100$

Результаты и их обсуждение

Для построения области компромисса критериев качества трубной стали данной марки были выбраны управляемые переменные и критерии. Построение области компромисса проводилось согласно

методике, описанной в [8; 9]. В качестве переменных были выбраны элементы химического состава, а в качестве критериев выбраны следующие механические свойства: предел прочности на разрыв, предел текучести и относительное удлинение. Выбраны те критерии, которые наиболее часто

фигурируют при прямо-сдаточных работах и являются основными характеристиками прочностных свойств. В данном случае были подобраны элементы химического состава, которые позволяют добиваться наилучшего сочетания механических свойств.

Определенные области компромисса механических свойств труб в зависимости от химического состава представлены на полученных графиках, отображающих зависимости каждой функции цели от каждого параметра. Однако изменение одной переменной может привести к

одновременному улучшению одной и в то же время ухудшению другой характеристики [10–13].

Следовательно, на втором этапе необходимо создать область компромисса путем наложения графиков зависимости для каждой функции цели от всех параметров. Область пересечения графиков зависимостей представляет собой область компромисса конкретного свойства. На рисунках 2–4 приведены полученные области компромисса для предела прочности на разрыв, предела текучести и относительного удлинения исследуемой марки труб.

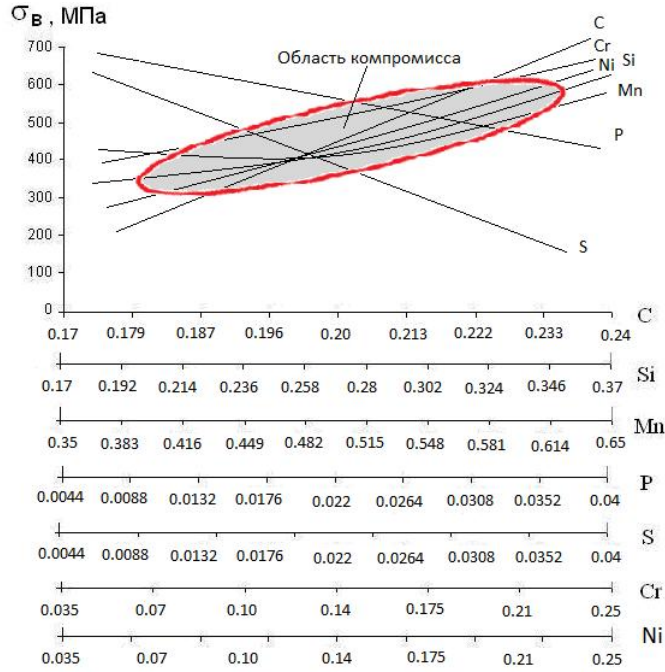


Рис. 2. Область компромисса для предела прочности на разрыв труб марки стали 20 /
 Fig. 2. The area for compromise tensile strength of the steel grade pipe steels 20

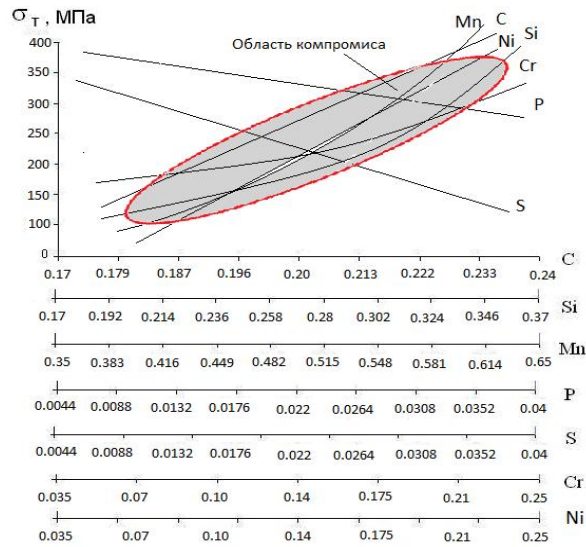


Рис. 3. Область компромисса предела текучести труб марки стали 20 /
 Fig. 3. The area of compromise yield strength pipe steels 20

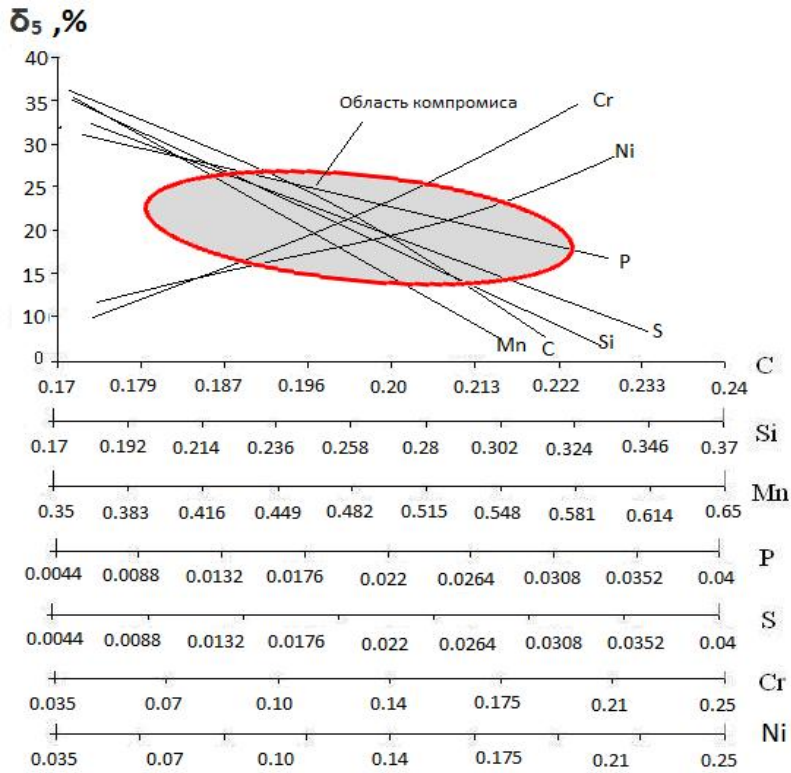


Рис. 4. Область компромисса относительного удлинения труб марки стали 20 /
 Fig. 4. Area compromise elongation grade steel pipes 20

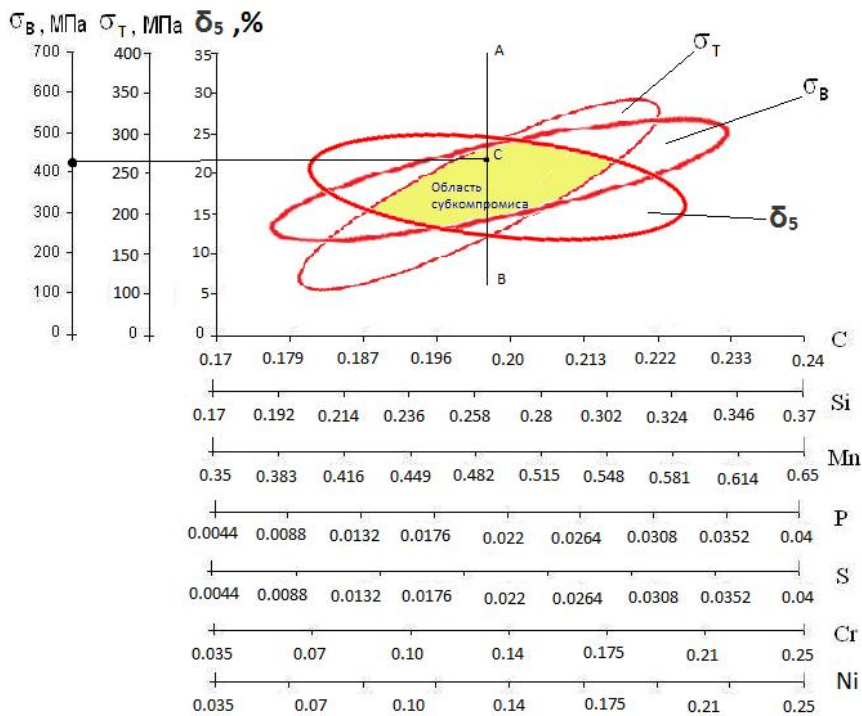


Рис. 5. Область субкомпромисса механических свойств рабочей зоны труб марки стали 20 в зависимости от его химического состава: $\sigma_b \approx 300 \div 500$ МПа, $\sigma_t \approx 200 \div 300$ МПа, $\delta \approx 15 \div 25$ % с учетом всего диапазона применяемых степеней охлаждения /

Fig. 5. Area sub compromise the mechanical properties of the working area of pipes steel grade 20, depending on its chemical composition: $\sigma_b \approx 300 \div 500$ МПа, $\sigma_t \approx 200 \div 300$ МПа, $\delta \approx 15 \div 25$ % taking into account the full range of applicable cooling degree

Из рисунков 2–4 видно влияние химического состава труб на их прочностные характеристики. Повышение свойств обусловлено увеличением содержания углерода и кремния, а также никеля и хрома.

Третьим этапом является нахождение области субкомпромисса для всех функций цели одновременно.

На рисунке 5 показана область субкомпромисса для выбранных критериев, которая определена графо-аналитическим методом, заключающимся в нормированном представлении переменных, приведенных в процентах. Выбранные критерии описывают рабочие области механических свойств

труб. Если у пользователя есть предпочтение к одному из механических свойств (например, к пределу текучести – на рисунке точка С), то, проведя вертикаль АВ через указанную область субкомпромисса можно определять химический состав изделия и прогнозировать интервал существования его механических свойств.

Выводы

Как показал опыт, на практике такой подход удобно применять при прогнозировании химического состава изделия и его механических свойств в производственных условиях

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Металловедение : монография / [Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева]. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%83%D0%B3%D1%83%D0%BD>.
2. Durand-Charre, M. Microstructure of steels and cast irons / M. Durand-Charre. – Springer. – 2004. – 404 p. – Режим доступа: <http://www.springer.com/us/book/9783540209638>.
3. Ferrous Materials: Steel and Cast Iron / [H. Berns, W. Theisen]. – Springer. – 2008. – 418 p. – Режим доступа: <https://books.google.com.ua/books?id=6ZgvRtOvMvUC&r>.
4. Joseph R.D. Cast Irons / R.D. Joseph // ASM International. – 1996. – 494 p. – Режим доступа: https://books.google.com.ua/books/about/Cast_Irons.html?id=NbgtLo7jhwC&redir_esc=y.
5. Elliott R. Cast iron technology / R. Elliott. – Butterworths. – 1988. – 244 p. – Режим доступа: https://books.google.com.ua/books/about/Cast_iron_technology.html?id=xwpUAAAAMAAJ&redir_esc=y.
6. Гуляев А. П. Металловедение : монография / А. П. Гуляев. – Москва : Металлургия, 1986. – 544 с. – Режим доступа: <http://lib-bkm.ru/load/2-1-0-2109>.
7. Metals Reference Book / Edited Colin J. – Smithells. – Butterworths, 1976. – 1 566 p. – Режим доступа: <http://www.worldcat.org/title/metals-reference-book/oclc/62743363?ht=edition&referer=di>.
8. Большаков В. И. Этапи ідентифікації багатопараметричних технологій та шляхи їх реалізації / В. И. Большаков, В. М. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Національної Академії наук України. – 2013. – № 8. – С. 66–72. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67873>
9. Большаков В. И. Способ определения области компромисса критериев качества многокритериальных технологий / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров / Свидетельство о регистрации авторского права Украины на изобретение № 53769 от 18.02.2014 г. – 5 с. – Режим доступа: http://sips.gov.ua/ua/authors_rights.html.
10. Большаков В. И. Определение области компромисса критериев качества чугуновых валков / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 11. – С. 4–7. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-oblasti-kompromissa-kriteriev-kachestva-chugunnyh-valkov>.
11. Большаков В. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металознавство та термічна обробка металів. – 2013. – № 4. – С. 5–11. – Режим доступа: <https://www.morebooks.de/store/ru/book/Пути-идентификации-периодических-многокритериальных-технологий/isbn/978-3-659-60262-7>.
12. Большаков В. И. Пути расширения области существования управляемых переменных в многокритериальной задаче материаловедения / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров, Д. А. Каминский // Строительство. Металловедение. Машиностроение. – 2012. – Вып. 64. – С. 127–132. – Режим доступа: <https://www.ljubljuknigi.ru/store/de/book/Пути-идентификации-периодических-многокритериальных-технологий/isbn/978-3-659-60262-7>.
13. Волчук В. Н. К определению области компромисса характеристик качества материалов / В. Н. Волчук. // Металознавство та термічна обробка металів. – 2015. – № 3. – С. 5–11. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/index.php/2413-7405/article/view/57879>.

REFERENCES

1. Lakhtin Yu.M. and Leont'yeva V.P. *Materialovedeniye* [Materials Science]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1990, 528 p. (in Russian).
2. Durand-Charre, M. Microstructure of steels and cast irons. Springer, 2004, 404 p.
3. Berns H. and Theisen W. Ferrous Materials: Steel and Cast Iron. Springer, 2008, 418 p.
4. Joseph R.D. Cast Irons. ASM International, 1996, 494 p.
5. Elliott R. Cast iron technology. Butterworths, 1988, 244 p.
6. Gulyayev A.P. *Metallovedeniye* [Metal Science]. Moscow: Metallurgiya, 1986, 544 p. (in Russian).
7. Metals Reference Book. Edited Colin J. Smithells. Butterworths, 1976, 1 566 p.
8. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Etapy identyfikatsiyi bahatoparametrychnykh tekhnolohiy ta shlyakhy yikh realizatsiyi* [Stages multiparameter identification technologies and ways of their implementation]. *Visnik Nacional'noi Akademii nauk Ukraini* [Bulletin of the Ukraine's National Academy of Science]. No. 8, 2013, pp. 66–72. [in Ukrainian].

9. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Sposob opredeleniya oblasti kompromissa kriteriev kachestva mnogokriterial'nykh tekhnologiy* [The method for determining the area of compromise quality criteria of multi-criteria Technology]. *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na tvir* [The certificate of registration in Ukraine copyright for an invention]. No. 53769, 18.02.2014. (in Russian).

10. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Opredeleniye oblasti kompromissa kriteriyev kachestva chugunnykh valkov* [Scoping compromise quality criteria of cast iron rolls]. *Visnyk Prydniprov's'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*. [Bulletin of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture]. 2014, no.11, pp. 4–7. (in Russian).

11. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Identifikatsiya mnogoparametricheskikh, mnogokriterial'nykh tekhnologiy i puti ikh prakticheskoy realizatsii* [Multiparameter identification, multicriteria techniques and ways of their implementation]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metallurgy and Heat Treatment of Metals]. 2013. no. 4, pp. 5–11. (in Russian).

12. Bolshakov V.I, Dubrov Y.I. and Kaminski D.A. *Puti rasshireniya oblasti sushchestvovaniya upravlyayemykh peremennykh v mnogokriterial'noy zadache materialovedeniya* [Ways to expand the domain of existence of controlled variables in the multicriteria problem]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie* [Construction Materials. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2012, vol. 64, pp. 127–132. (in Russian).

13. Volchuk V.N. *K opredeleniyu oblasti kompromissa kharakteristik kachestva materialov* [By the definition of the field of compromise materials quality characteristics]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metallurgy and Heat Treatment of Metals]. 2015, no. 3, pp. 5–11. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. Ю. И. Дубровым (Украина); д-ром техн. наук, проф. В. С. Вахрушевой (Украина).

Поступила в редколлегию 19.04.2016

Принята к печати 23.04.2016