

Расим Магамед оглу Алгулиев, доктор технических наук, профессор, директор, Академик Национальной Академии Наук Азербайджана, Отдел информационного общества, Институт Информационных Технологий Национальной Академии Наук Азербайджана
ул. Б. Вагабзаде, 9А, Баку, Азербайджан, AZ1141
E-mail: r.alguliev@gmail.com

Исмаил Джалал оглу Садыгов, старший научный сотрудник, Отдел информационного общества, Институт Информационных Технологий Национальной Академии Наук Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9А, Баку, Азербайджан, AZ1141
E-mail: ismayil.sadigov@gmail.com

УДК 519.21

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.150342

СПОСІБ ПРОГНОЗУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУННИХ ВАЛКІВ

© **В. М. Волчук, С. Г. Токосов**

Визначена робоча область багатопараметричної технології виробництва сортопрокатних чавунних валків. Побудована математична модель прогнозу механічних властивостей валків в залежності від їх хімічного складу. На основі аналізу отриманої моделі розрахована область компромісу механічних властивостей валків. Область компромісу дає можливість користувачеві прогнозувати комплекс механічних властивостей валків в рамках нормативних документів. Прогноз властивостей проводиться з урахуванням вимог замовника

Ключові слова: багатопараметрична технологія, чавунні валки, механічні властивості, хімічний склад, область компромісу

1. Вступ

В Україні близько половини всієї продукції, що експортується на ринки Європи, Америки, Азії припадає на вироби з металу. При цьому основна частка металопрокату виробляється з чавуну, значна частина якого припадає на багатотоннажні вилки, зокрема, прокатні валки. Від якості валків багато в чому залежить якість металопродукції, що випускається. Щоб витримати конкуренцію на світовому ринку готової металопродукції вітчизняні металургійні підприємства переходять на випуск валків з економнолегованих марок чавуну, що призводить до значного економічного ефекту в промислових масштабах. Однак слід зазначити, що оцінка характеристик якості безпосередньо на самому об'єкті призводить до значних матеріально-тимчасових витрат в межах їх масового виробництва та її не завжди можна технічно реалізувати, тому що це може привести до порушення цілісності валка. Крім того, технологія виробництва прокатних валків являється складною [1, 2]. Це підтверджується її багатопараметричністю та багатокритеріальною [3], оскільки на якість валкового чавуну значною мірою впливає велика кількість параметрів технології (хімічного складу, включаючи легуючі елементи і модифікатори, умови охолодження, товщини намазки форми, способу лиття та ін.), що визначають формування структури та пов'язані між собою [4, 5]. Навіть незначна зміна параметрів технології може привести до суттєвої зміни механічних і службових властивостей валків у широкому діапазоні [6].

2. Літературний огляд

Дослідження технології виробництва та експлуатації виробів з чавуну, зокрема прокатних валків [7–9], свідчить про те, що для ідентифікації цієї періодичної технології необхідно застосовувати системний підхід [10]. Застосування системного підходу базується на поетапному дослідженні технології та параметрів, що на неї впливають та пошуком шляхів підвищення критеріїв якості чавунних відливок [11]. Одним з підходів для вирішення задачі оперативної, необхідної для практичних цілей, оцінки їх якісних характеристик з мінімальними витратами, є методика, що заснована на створенні неруйнівних методів контролю [12]. Перспективним напрямком визначення характеристик якості матеріалів є створення математичних моделей прогнозу цих характеристик в залежності від параметрів технології [13] та з використанням експертних систем [14]. Зокрема, для оцінки структури та властивостей чавунних валків застосовують фрактальний формалізм [15].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що застосування фрактального формалізму в промислових масштабах ускладнюється персональною обробкою кожного зображення структури при визначенні фрактальних розмірностей її елементів. Тому для прогнозу механічних властивостей чавунних валків запропоновано підхід, що базується на даних натурних іспитів та статистично-експертній інформації.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є прогноз механічних властивостей чавунних валків з мінімальними матеріально-

часовими витратами та з точністю, що задовольняє вимогам замовника.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

1. Визначити робочу область параметрів технології чавунних прокатних валків згідно нормативним документам та штатної технології.

2. Провести аналіз впливу елементів хімічного складу прокатних валків на їх механічні властивості.

3. Побудувати математичну модель прогнозу механічних властивостей прокатних валків.

4. Визначити область компромісу механічних властивостей валків, що являє собою область, у якій критерії, що визначають працездатність й ефективність даної технології, щонайкраще співвідносяться один з одним у тому розумінні, що можливі протиріччя між цими критеріями припустимо мінімальні, оскільки протилежності взаємодіють між собою тільки в середовищі компромісу [16, 17].

Визначення області компромісу вже успішно застосовувалося для оцінки механічних властивостей чавунних валків [18].

4. Матеріали та методики дослідження

В якості матеріалу для дослідження відбирались чотири литі прокатні чавунні валки виконання

СПХН-43, СПХН-45 (після двох плавок), СПХН-49 виробництва ПАТ Дніпропетровського заводу прокатних валків. Сортопрокатні (С) чавунні валки з пластинчастою формою графіту (П) і кулястою формою графіту (Ш) легують хромом (Х) і нікелем (Н) для підвищення їх службових характеристик, зокрема твердості та зносостійкості. Склад і структура литих сортопрокатних чавунних валків є основними факторами, що визначають їх фізико-механічні властивості. Досліджували чавунні валки виконання СПХН, що містять 2,8 ... 3,5 % вуглецю по масі, леговані хромом (0,5 ... 0,8 %), нікелем (0,9 ... 1,3 %), міддю (0,2 ... 0,3 %) згідно ТУ У 27.5-24608640-002: 2008.

Зразки для оптичної мікроскопії (Neophot-2) та механічних іспитів вирізались з поверхневого шару (до ~50 мм) відлитих проб та гладких металевих бочок в тангенціальному напрямку. Механічні властивості валкового чавуну визначали на стандартному устаткуванні: машина іспитова «INSTRON», маятниковий копер ПСВ 5, машина іспитова ЦД-40, твердомір – склероскоп Шора. Ударну в'язкість чавуну визначали на зразках без надрізу розміром 10×10×55 мм. Для оцінки рівня міцності на згин використовували зразки 10×10×90 мм, а на розтяг – зразки діаметром 25 мм та довжиною 50 мм.

На рис. 1 наведена структура робочої зони бочок валків виконання СПХН.

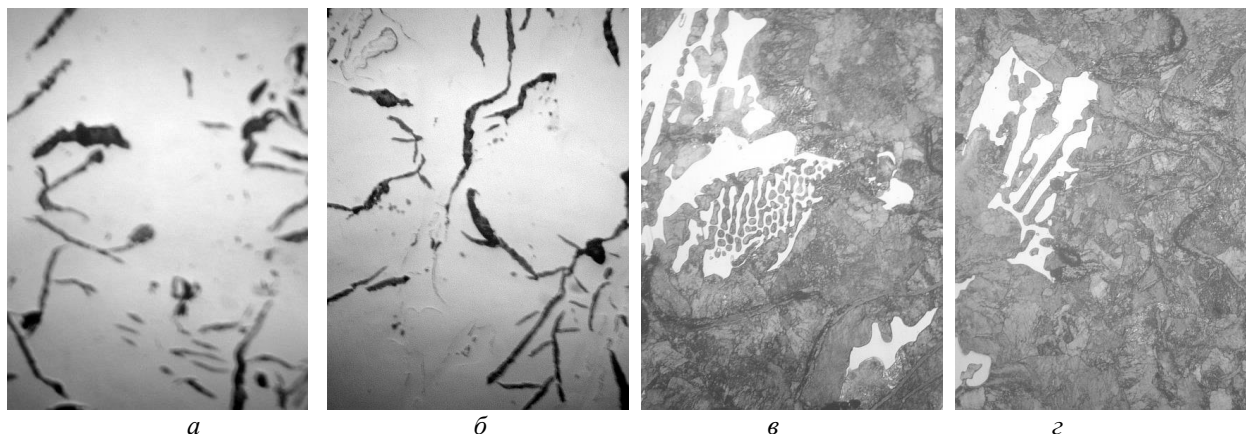


Рис. 1. Мікроструктура бочок валків на відстані 10 мм від поверхні: *а* – пластинчатого графіту валка СПХН-45; *б* – пластинчатого графіту валка СПХН-49; *в* – колоній ледебуриду, пластинчатого графіту та перлітної матриці валка СПХН-45; *з* – колоній ледебуриду, пластинчатого графіту та перлітної матриці валка СПХН-49, ×200

У робочій зоні бочок валків вміст пластинчастого графіту коливався від 0,5 до 3 % з балом ПГд45-ПГд180; кількість ледебуритної евтектики змінювалась від 8 % до 37 %.

5. Розробка способу прогнозу механічних властивостей валків

Для реалізації першого пункту наміченого плану визначалася робоча область механічних властивостей, параметрів технології чавунних прокатних валків згідно нормативним документам та штатної технології. В якості критеріїв сортопрокатних валків обрані наступні механічні властивості: межа міцності на розрив (σ_B), межа міцності на згин ($\sigma_{згин}$), ударна в'язкість (КС), твердість за Шором (HSD). Кількісні

показники по хімічному складу обмежені технічними умовами (ТУ) У27.1-26524137-1291, а кількісні показники елементів структури визначали відповідно до Держстандарту 3443. Граничні значення механічних властивостей оцінювалися за допомогою експертних оцінок та літературних джерел [1, 2, 6]. Встановлено, що для валків виконання СПХН область існування властивостей обмежена наступними межами: $\sigma_B \approx 220 \div 380$ МПа, $\sigma_{згин} \approx 390 \div 840$ МПа, КС $\approx 8 \div 25$ кДж/м², HSD $\approx 40 \div 70$ з урахуванням всього діапазону застосованих умов охолодження у металевій формі.

На другому етапі реалізації плану проводився аналіз впливу елементів хімічного складу прокатних валків на їх механічні властивості. Результати аналізу наведені у вигляді гістограм (рис. 2). Стовпці гістог-

рами, спрямовані вище нуля, описують позитивний вплив елементів хімічного складу на властивості, нижче нуля – негативний.

Як випливає з рис. 2, основний вплив на властивості валків мають вуглець, хром та нікель. У зазначеній "вилці" вмісту хімічних елементів підвищення кількості вуглецю з 2,60 до 3,57 % знижує міцності і ударну в'язкість, зате підвищує твердість, і

відповідно, зносостійкість чавуну. Однак слід зазначити, що в валках з діаметром металевої бочки 300...1100 мм з перліто-графіто-цементитним робочим шаром концентрацію вуглецю слід знижувати до <2,8 %, оскільки велика частка вуглецю припадає на створення графітних включень і тому збільшення його вмісту веде до зниження міцності і пластичності [19, 20].

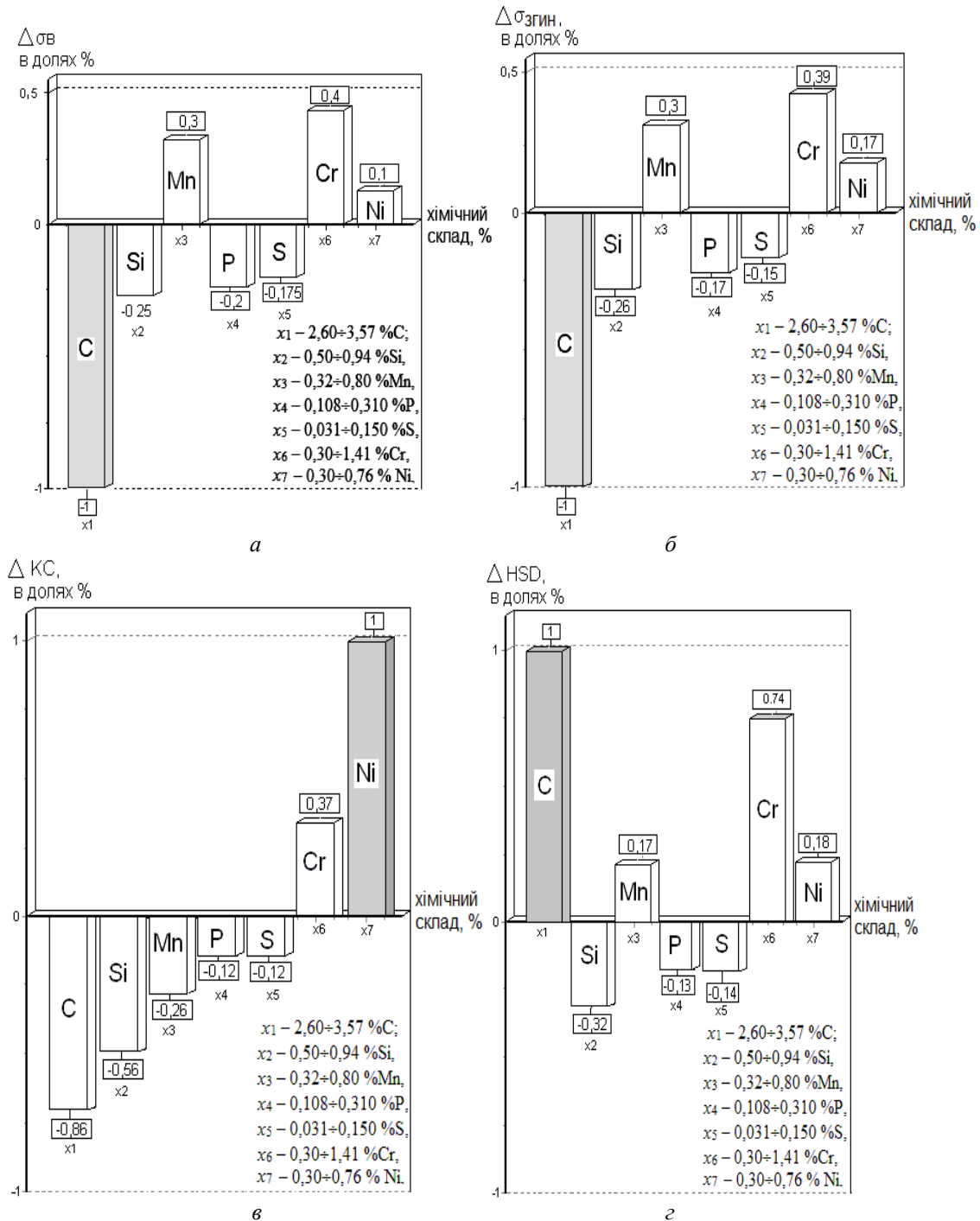


Рис. 2. Вплив елементів хімічного складу валків виконання СПХН на: а – межу міцності на розрив; б – межу міцності на згин; в – ударну в'язкість; г – твердість

Зв'язаний вуглець при вмісті до 1,2 % в легованому чавуні підвищує твердість і міцність, стабілізує перліт, збільшує кількість основної зміцнюючої фази, підвищує твердість і знижує пластичність. Показано вплив вуглецю в межах 2,6...3,6 % на механічні влас-

тності робочого шару бочок. Збільшення вмісту Cr і Ni позитивно впливає на розглянуті критерії. При спільному впливі з хромом нікель підвищує твердість валків, а в кількостях до 1 % підвищує міцність і зносостійкість.

На третьому етапі, на основі аналізу впливу хімічного складу на властивості отримана, регре-

сійна модель їх прогнозу (1–4) в межах робочої області.

$$\sigma_B = 1362,7 - 392,9 \cdot x_1 + 265,3 \cdot x_2 - 761,1 \cdot x_3 + 690,6 \cdot x_4 - 1855,1 \cdot x_5 + 1035,5 \cdot x_6 - 272,4 \cdot x_7; r = 0,82 \quad (1)$$

$$\sigma_{згин} = 2581,8 - 441,5 \cdot x_1 - 301,7 \cdot x_2 - 1111,6 \cdot x_3 + 1444,4 \cdot x_4 - 6673,2 \cdot x_5 + 307,9 \cdot x_6 + 94,7 \cdot x_7; r = 0,96 \quad (2)$$

$$KC = 55,5 + 1,8 \cdot x_1 - 28,9 \cdot x_2 + 45,5 \cdot x_3 - 36,2 \cdot x_4 + 6,9 \cdot x_5 - 95,5 \cdot x_6 + 25,4 \cdot x_7; r = 0,89 \quad (3)$$

$$HSD = 53,7 + 3,4 \cdot x_1 - 4,6 \cdot x_2 - 56,0 \cdot x_3 + 4,5 \cdot x_4 - 65,6 \cdot x_5 + 35,2 \cdot x_6 - 4,0 \cdot x_7; r = 0,82 \quad (4)$$

Нижче наведена область компромісу механічних властивостей прокатних валків СПХН (рис. 3), що отри-

мана графо-аналітичним способом, який полягає в нормованому поданні змінних представлених у відсотках [3].

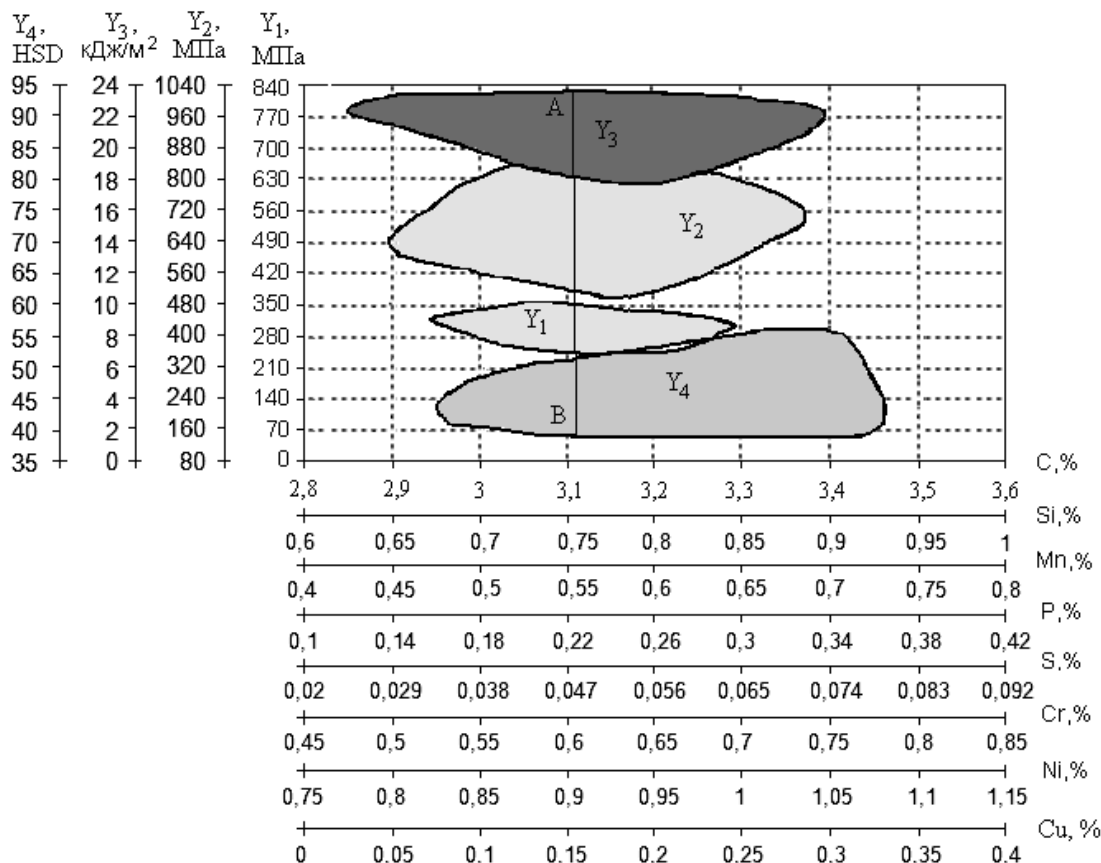


Рис. 3. Область компромісу критеріїв якості чавунних валків виконання СПХН

5. Результати досліджень

На основі аналізу технології виробництва прокатних валків виконання СПХН отримана область компромісу їх критеріїв якості, що дозволяє здійснювати їх прогноз з мінімальними матеріально-часовими витратами та з точністю, що задовольняє вимогам замовника. Обрані критерії описують робочі області механічних властивостей чавунних валків, хімічний склад яких не виходить за межі ТУ У 14-2-1188-97. Визначаючи робочу область, користувач, тим самим, визначає припустимі значення змінних, діапазон їх змін і критерії якості цільового продукту.

6. Висновки

Розроблено спосіб прогнозу механічних властивостей чавунних валків виконання СПХН, який включає:

1. Визначення робочої області параметрів технології чавунних прокатних валків: $\sigma_B \approx 220 \div 380$ МПа, $\sigma_{згин} \approx 390 \div 840$ МПа, $KC \approx 8 \div 25$ кДж/м², $HSD \approx 40 \div 70$ з урахуванням діапазону застосованих умов охолодження у металевій формі.
2. Дослідження впливу елементів хімічного складу прокатних валків на їх механічні властивості, що підтверджується гістограмами (рис. 2).
3. Математичну модель прогнозу механічних властивостей прокатних валків (1-4).
4. Визначення області компромісу механічних властивостей валків виконання СПХН (рис. 3), що дозволяє їх прогнозувати в залежності від вимог замовника.

Література

1. Кривошеев А. Е. Литые валки. Москва: Металлургиздат, 1957. 360 с.
2. Прокатные валки из высокоуглеродистых сталей: монография / Скобло Т. С. и др. Москва: Металлургия, 1994. 336 с.
3. Дубров Ю., Большаков В., Волчук В. Пути идентификации периодических многокритериальных технологий. Сaarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2015. 236 с.
4. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации // Металознавство та термічна обробка металів. 2013. № 4. С. 5–11.
5. Большаков В. И., Волчук В. М., Дубров Ю. И. Етапи ідентифікації багатопараметричних технологій та шляхи їх реалізації // Вісник НАН України. 2013. № 8. С. 66–72. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67873>
6. Прокатные валки / Вдовин К. Н. и др. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 543 с.
7. Боровик Л. И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. Москва: Металлургия, 1968. 233 с.
8. Вафин Р. К., Покровский А. М., Лешковцев В. Г. Прочность термообработываемых прокатных валков / ред. Нарайкин О. С. Магнитогорск: МГТУ, 2004. 264 с.
9. Будагьянц Н. А., Карский В. Е. Литые прокатные валки. Москва: Металлургия, 1983. 175 с.
10. Любченко А. П. Высокопрочные чугуны. Москва: Металлургия, 1982. 120 с.
11. Мерло О. Е. Качество чугунных прокатных валков. Москва: Металлургия, 1966. 247 с.
12. Применение неразрушающего контроля для оценки качества отливок из серого чугуна / Скобло Т. С. и др. // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 4. С. 15–25.
13. Большаков В. И., Дубров Ю. И. Решение многокритериальной задачи металловедения с качественно неоднородными критериями // Доповіді НАН України. 2004. № 11. С. 95–102.
14. Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем / Большаков В. И. и др. // Доповіді НАН України. 2006. № 9. С. 100–103.
15. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism / Volchuk V. et. al. // Tehnički Glasnik. 2018. Vol. 12, Issue 2. P. 93–97. doi: <http://doi.org/10.31803/tg-20180302115027>
16. Большаков В. И., Дубров Ю. И. Шляхи ідентифікації антропоморфних систем // Вісник НАН України. 2017. № 10. С. 62–66. doi: <http://doi.org/10.15407/visn2017.10.062>
17. Волчук В. Н. К определению области компромисса характеристик качества материалов // Металознавство та термічна обробка металів. 2015. № 3. С. 5–11.
18. Большаков В. И., Фортыхин А. А. Способ определения области компромисса критериев качества многокритериальных технологий // Металознавство та термічна обробка металів. 2016. № 2. С. 40–46.
19. Волчук В. Н. Исследования влияния химического состава чугунных прокатных валков на их механические свойства // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2014. № 5. С. 12–18. URL: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/40698>
20. Производство и применение прокатных валков: справочник / Скобло Т. С. и др.; ред. Скобло Т. С. Харьков: ЦД № 1, 2013. 572 с.

Дата надходження рукопису 23.10.2018

Волчук Володимир Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005
E-mail: volchuky@gmail.com

Токосов Станіслав Георгійович, кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005
E-mail: volchuky@gmail.com