

## **ОБҐРУНТУВАННЯ АНАЛІТИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПРИКЛАДНІЙ МЕХАНІЦІ**

*Олег Павлович Юшкевич*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-8424>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Валерій Устинович Ігнаткін*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ

### **Вступ**

Протягом кількох років були проведені роботи [1, 2, 3]: з виявлення на промислових підприємствах марок сталей, близьких за механічними властивостями, тобто двійників та взаємозамінників; об'єднанню в нетрадиційні групи та підвищенню спеціалізованості класів сталей; упорядкування марочного сортаменту металопрокату за різними критеріями.

При цьому було вивчено реальну номенклатуру сталей та виконано збір даних про механічні властивості металопрокату на 9 підприємствах України (Алчевський МК, «Запоріжсталь», МЗ ім. Петровського, Єнакіївський МЗ, Дніпровський МК ім. Дзержинського, Криворізький МК, Донецький МЗ, Макіївський МЗ, АТ «Дніпрспецсталь») за період з 1992 по 1994 р.р. [3].

Величезним марочним сортаментом у класі машинобудівних сталей виділявся ВАТ «Дніпрспецсталь» (м. Запоріжжя). На цьому підприємстві виплавляються сталі різного ступеня легуваності. Спосіб виплавки – електросталеплавильний. Продукція, що виробляється тут, піддається термічній обробці.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Зробити аналіз технічної інформації по марках сталей, що виплавляються, способам їх термічної обробки і одержуваним механічними властивостями.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

На перерахованих підприємствах в ході виконання НДР були зібрані фактичні показники, що описують металопродукцію.

Відібрані характеристики сталей для металовиробів узагальнюва-

ли у вигляді таблиць, які мають наступну структуру колонок: марка сталі; завод-виробник; профіль перерізу металопрокату; типорозміри; характерний розмір;  $\sigma_B$ ;  $\sigma_T$ ;  $\delta$ ;  $\psi$ ; КСУ;  $Z_{екв}$ ;  $\sigma_B/\sigma_T$ ;  $\delta/\sigma_B$ . Таким чином, було отримано генеральну сукупність показників сталей. Дані з таблиць вводили в ЕОМ та зберігали в текстових файлах, які конвертували в середовище обробки інформації. База даних містить відомості про 205 сталей [3].

Аналіз даних виконували в інтегрованому середовищі розробки експертних систем Інтер-Експерт (GURU), що поєднує системи електронних таблиць, СУБД, внутрішню алгоритмічну мову програмування високого рівня, мову запитів SQL та середовище створення інтелектуальних правил, що дає явні переваги перед традиційними системами обробки інформації [5].

Дослідження виконали для сталей: 1) вуглецевих звичайної якості (Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст5пс, Ст5сп та ін); 2) якісних вуглецевих (10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50); 3) легованих (20Х, 35Х, 45Х, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 14Г2, 19Г2, 50Г, 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП, 14Г2АФ, 15Г2А та ін.).

## РЕЗУЛЬТАТИ

У роботі [2] було показано, що характеристики металопрокату з якісних вуглецевих сталей перевищують по абсолютним значенням вимоги стандартів на відміну що до вуглецевих сталей звичайної якості. Тож для обліку якісного впливу марки сталі на її характеристики було запроваджено індексация, згідно якої кожній марці ставився у відповідність умовний порядковий номер, який складається з індексу -  $m$  ( $m \in [1; M]$ , де  $M$  - загальна кількість марок сталей).

Хімічний склад сталей та кількісні співвідношення між його елементами є їхніми суттєвими відмінними рисами, без урахування яких неможливе проведення аналітичного опису та нетрадиційної класифікації, розглянутих марок [6].

Тому до сукупності класифікаційних ознак насамперед мають бути віднесені принципові та характерні особливості хімічних складів, у тому числі легуючих елементів сталей та сплавів. У прямій залежності від хімічного складу використовуваного матеріалу та способу отримання продукції знаходиться структурний стан, що формує комплекс здавальних характеристик, який також може розглядатися як один з факторів поділу марок на групи. Тому кожен фактичний хімічний склад сталі в межах марочного можна охарактеризувати спеціальною кількісною характеристикою – комплексним показником (у тому числі вуглецевим еквівалентом  $C_{екв}$ . [2, 4])

$$x = f(\chi_1, \dots, \chi_e, \dots, \chi_E), \quad (1)$$

де  $\chi_e$  - позначення хімічного елемента;

$e$  – індекс хімічного елемента ( $e \in [1; E]$ ), де  $E$  – загальна кількість хімічних елементів у складі сталі.

З цього випливає, що показник хімічного складу необхідно розглядати, як самостійний класифікаційний ознака -  $x$ , який комплексно відображає список значень хімічних елементів. Кожен хімічний склад сталі отриманий після виплавки відображається в облікових, звітних, сертифікаційних та інших документах підприємства під певним номером і маркуванням, які можна поставити у відповідність індексу. Таким чином, показник хімічного складу відповідає конкретній плавці. Позначимо індекс показника хімічного складу –  $s$  ( $s \in [1; \Psi]$ , де  $\Psi$  - загальна кількість плавочних хімічних складів сталі).

Аналіз дисперсії та максимальних значень механічних властивостей сталей з генеральної сукупності дав можливість виділити кращих виробників металовиробів, яким властиві більш стабільні (мінімум дисперсії) та раціональні (переважний розподіл механічних характеристик у галузі максимальних значень) показники якості виробництва металопродукції. При цьому було підтверджено, що механічні властивості [1] різнорідного і різносортного металопрокату, виготовленого з однієї марки сталі, мають значну дисперсію, яка пояснюється передісторією виготовлення профілів різного виду на різних підприємствах [2]. Таким чином, стан металу з якого виготовлений виріб значно впливає на механічні властивості елементу конструкції. Тому цю закономірність можна відобразити індексом стану металу –  $c$  ( $c \in [1; Y]$ , де  $Y$  – загальна кількість внутрішніх станів сталі). Позначимо стани матеріалу: литий – 1, холоднодеформований – 2, гарячедеформований – 3 і т.д.

Однак виконаний для всіх вищевказаних металургійних підприємств України, порівняльний аналіз механічних властивостей, металопрокату що випускається з певної марки сталі, із заданими видами профілів та характерними представницькими типорозмірами, показав близькі значення математичних очікувань міцності та пластичності, або незначні перепади їх мінімальних або максимальних значень [5].

Зміну показників міцності та плинності у вибірці для листа зі сталі 08пс в інтервалі товщин 10...12 мм різних підприємств аналізували для інтервалів розмаху між мінімальними і максимальними значеннями фактичних властивостей. Виявлена залежність від підприємства-виробника механічних характеристик металопрокату із сталі 08пс у вибірці для форми виробу із простим плоским профілем. Товщина профілю: 1 – 12 мм, 2 – 10 мм. Умовний індекс підприємства: 1

– «Запоріжсталь», 2 – завод ім. Петровського, 3 – Алчевський МК.З одержаної залежності випливає, що в межах однакових значень товщин профілю 10 або 12 мм для катаного листа, широкої смуги та смужки: 1) математичні очікування меж плинності  $M\sigma_T$  змінюються мало, інтервали розмаху значень перекриваються, їх ширина не перевищує 60 МПа; 2) математичні очікування межі міцності  $M\sigma_b$  також однорідні, інтервали їх змін перекриваються і за розмахом не перевищують 100 МПа. Це дає підставу поєднати сукупності наборів механічних властивостей однойменних сталей, вироблених на різних підприємствах у множену, яка є вибіркою з генеральної сукупності, всередині якої повинні існувати групи за видами форми профілів, далі поділені на підгрупи типорозмірів прокату. При цьому необхідно розглядати лише ті сталі, чий плавочний хімічний склад змінювався в межах марочного сортаменту згідно з нормативною документацією.

Отже, кожній марці сталі можна поставити у відповідність індекс (порядковий номер) підприємства -  $f$ , що характеризує вплив особливостей виробництва на комплекс механічних властивостей ( $f \in [1; F]$ , де  $F$  - загальна кількість підприємств).

Аналіз вітчизняного виробництва металопродукції дозволив виявити, що перелік конструкційних марок, які виплавляються значно коротший за нормативний ряд, що існує в СНіП [7]; обсяги випуску сталей для машинобудування та асортимент їх марок поступаються кількістю матеріалів, що використовуються у будівництві металевих конструкцій; марочний сортамент продукції із сталей включає значну кількість готових металевих виробів. Виходячи з цього, аналітичний опис сталей має проводитися з урахуванням призначення кожної марки, яке зафіксовано в нормативно-технічній документації. Для відображення цього кожній марці сталі може бути поставлений у відповідність індекс призначення (область експлуатації) -  $n$  ( $n \in [1; \Omega]$ , де  $\Omega$  – загальна кількість індексів призначення).

Виконаний для заданих сталей аналіз впливу форми профілю прокату при різних фіксованих значеннях характерних типорозмірів на механічні властивості показав наявність певної залежності. Так, показовими є (розраховані для сукупності 9 підприємств) зміни математичних очікувань  $M\sigma_b$  і  $M\sigma_T$  залежно від виду профілю перетину прокату зі сталі Ст5сп. Одержано залежності математичних очікувань  $M\sigma_b$  і  $M\sigma_T$  від зміни виду профілю прокату зі Сталі 5 з характерними товщинами: 1 – 12 мм, 2 – 10 мм, 3 – 8 мм. Індеси профілів: 1 – куточок, 2 – швелер, 3 – лист, широка смуга 100 × 10 і 155 × 12, 4 – коло, 5 – вузька смуга 36 × 10. Отриманий результат дозволяє стверджувати, що вид профілю перерізу прокату є одним із параметрів впливу на рівні зміцнення або розміцнення сталей.

Порівняльний аналіз зміни розмахів та математичних очікувань механічних властивостей металопрокату, у межах подібних форм перетинів, показав близькі значення цих характеристик. Наприклад, у листа, широкої смуги та смужки; кола та шестигранника; швелера, двотавра та рейки; квадрата і вузької смуги.

Тому групувати та зіставляти між собою значення механічних властивостей різних марок сталей, виготовлених на різних підприємствах, можна тільки для подібних видів профілів перетинів металовиробів при заданому типорозмірі. Це дає підставу класифікувати прокат за типом формоутворення у п'яти основних групах: 1 – коло, шестигранник; 2 – лист, широка смуга, смужка; 3 – куточок; 4 - швелер, двотавр, рейка; 5 - квадрат, вузька смуга . Номер такої групи позначатимемо –  $p$  і назвемо його індексом профілю ( $p \in [1; P]$ , де  $P$  – загальна кількість груп формоутворення) [5].

Проте, металовиробам із певної марки сталі, і заданими: геометричною формою, типорозміром, характерною товщиною або інтервалом товщин відповідають певні нормативні та розрахункові характеристики опору руйнуванню та деформації [7]. Відповідно до вимог стандартів, наприклад СНіП II 23-81 (частина II, глава 23, с. 63) [7], на сталеві конструкції та методи їх розрахунків, кожному виду прокату з певної марки сталі ставляться у відповідність, при заданій характерній товщині (за товщину фасонного прокату приймають товщину полиці), певні розрахункові (за межами плинності та міцності) та нормативні опори.

Тому представляло певний інтерес вивчити залежність нормативних, розрахункових та фактичних опорів від товщини прокату для сталевих конструкцій, які застосовуються при будівництві будівель та споруд. Як показовий вид профілю був обраний лист зі сталі 15ХСНД. Одержані залежності нормативних, розрахункових і фактичних характеристик міцності від товщини листа для інтервалу 4 ... 16 мм [5]. Вони показали, що зі зростанням товщини листа відбувається нерівномірна зміна дисперсії та ширини інтервалів між мінімальними та максимальними значеннями механічних властивостей прокату. Зниження величин математичних очікувань фактичних характеристик міцності сталей відбувається тільки в кінці інтервалу зміни товщин.

Отримана закономірність підтверджується фактично зв'язком характеристик міцності з характерною товщиною для листа зі сталей 10Г2С1 і 09Г2С. Проаналізована залежність розрахункових, нормативних та фактичних характеристик міцності зі зміною товщини листа від 4 до 160 мм. Показано, що зі зростанням товщини листа відбувається хвилеподібне зниження величин математичних очікувань

характеристик міцності сталей при нерівномірній зміні ширини фактичних меж розмахів мінімальних і максимальних значень механічних властивостей прокату. Таким чином, збільшення геометричних характеристик металопрокату істотно впливає на зміцнення сталей. Тому вони повинні взаємопов'язано сполучатися з оптимальними температурно-часовими параметрами зміцнення.

Вплив параметрів типорозмірів металопрокату на формування структури при його охолодженні на спокійному повітрі після гарячої прокатки оцінювали розрахунковим методом. При цьому використано рішення рівнянь теплопровідності методом сіток для циліндра та плити, реалізоване у вигляді програми "Розрахунок температурних полів" в операційному середовищі програмування QUICK BASIC.

Результати розрахунку отримані за наступних технологічних параметрів: температура кінця прокатки  $t_n = 1000$  °C; кінцева температура охолодження  $t_k = 150$  °C; температура навколишнього середовища  $t_c = 20$  °C; коефіцієнт тепловіддачі: для сталі 10Г2С1  $\alpha = 40$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); для сталей 20Х і 15ХСНД  $\alpha = 66$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); коефіцієнт теплопровідності: для сталі 10Г2С1  $\lambda = 36$  Вт/(м·К); для сталей 20Х і 15ХСНД  $\lambda = 34$  Вт/(м·К); питома теплоємність сталей  $C = 580$  Дж/(кг·К); щільність сталей: 10Г2С1  $\rho = 7830$  кг/м<sup>3</sup>, 20Х -  $\rho = 7815$  кг/м<sup>3</sup>, 15ХСНД -  $\rho = 7835$  кг/м<sup>3</sup> відповідно.

Розрахунки виконували для:

– кіл діаметрами (мм): 120, 140, 150, 160, 170 180, 200, 220, 250 зі сталей 20Х, Ст5сп;

– смуг товщинами (мм): 4, 8, 12, 14, зі сталі 15ХСНД; та 8, 11, 12, 14, 100 із сталі 10Г2С1.

Для приклада, було виконано аналіз фрагмента розрахункових кривих охолодження смуги зі сталі 15ХСНД, за даними термокінетичної діаграми (ТКД) [8], з якого випливає, що швидкість охолодження зі збільшенням товщини смуги знижується. Причому для кола характерна нелінійна залежність, смуги – лінійна. Проаналізовано розрахункові кривих охолодження смуги при товщині: 1 – 12 мм, 2 – 14 мм. Для поверхня і центру перерізу.

Одержані результати розрахунку впливу параметрів типорозмірів металопрокату на середню за перерізом швидкість охолодження спокійним повітрям після гарячої прокатки.

Аналіз впливу зміни товщини листа та діаметра кола на швидкість охолодження по перетину прокату показав, що збільшення параметрів типорозмірів веде до структурного розміцнення металу [5].

Причому, як в гарячекатаному стані металопрокату падіння характеристик опору деформації сталей відбувається інтенсивніше, ніж після нормалізації. Таким чином, термічна обробка (нормалізація)

частково компенсує розміщуючу дію геометричних параметрів. При цьому слід особливо відзначити, що зниження фактичної міцності має циклічний характер, що, мабуть, спричинене коливаннями хімічного складу щодо середніх значень у межах марочного та впливом стохастичної зміни параметрів прокатки при різних значеннях товщин у вибірках вихідних даних.

Аналіз кривих розподілу рівня механічних характеристик прокату за значеннями характерних типорозмірів показав, що збільшення товщини прокату веде до зростання величини резерву характеристик міцності сталі –  $R$ , що свідчить про підвищення рівня фактичного зміцнення металу.

З викладеного слід, що для характеристики якості сталей металовиробу можна використовувати величину абсолютного фактичного підвищення рівня механічних властивостей щодо нормативних чи розрахункових опорів з урахуванням, заданої марки сталі, заводу-виробника, стану постачання металу, форми профілю, призначення металовиробу та показника хімічного складу –  $R_{mfcpn}(x)$ . Резерв міцності підвищується за рахунок зниження рівня нормативних опорів, отже він залежить від величини площі поперечного перетину прокату  $s$  і визначається наступною функцією

$$R^i_{mfcpn}(x,s) = |\sigma^i_{mfcpn}(x,s) - \sigma^{in}_{mfcpn}(s)|, \quad (2)$$

де  $\sigma^i_{mfcpn}(x,s)$  – реальні значення різних механічних властивостей або їх математичні очікування з вибірки із заданим хімічним складом;

$i$  - індекс фізико-механічних властивостей ( $i \in [1; \rho]$ , де  $\rho$  - загальна кількість властивостей);

$\sigma^{in}_{mfcpn}(s)$  – нормативні чи розрахункові значення одиничних фізико-механічних властивостей.

При

$$\sigma_{mfcpn}(x,s) = \sigma_{\tau mfcpn}(x,s) \quad (3)$$

вираз (2) визначає фактичний резерв зміцнення металопрокату, оскільки згідно з принципом лінійної адитивності Орована [2] межа плинності може бути виражена сумою всіх факторів зміцнення

$$\sigma_{mfcpn}(x,s) = \sigma_{0mfcpn} + \Delta\sigma_{\tau, \text{п}mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{п}mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{з}mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{дн}mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{с}mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{т}mfcpn} \quad (4)$$

де  $\sigma_{0mfcpn}$  – опір тертя кристалічної решітки заліза;

$\Delta\sigma_{\tau, \text{п}mfcpn}$  – зміцнення твердого розчину – фериту;

$\Delta\sigma_{\text{п}mfcpn}$  – зміцнення за рахунок перлітної складової;

$\Delta\sigma_3$  *mfcprn* – зміцнення за рахунок подрібнення зерна;

$\Delta\sigma_d$  *mfcprn* – зміцнення підвищенням щільності дислокацій;

$\Delta\sigma_c$  *mfcprn* – зміцнення за рахунок утворення субзерен;

$\Delta\sigma_r$  *mfcprn* – дисперсійне зміцнення.

Введене співвідношення (2) показує залежність абсолютного фактичного рівня підвищення механічних властивостей сталі марки *m* від її геометричних ознак. Причому індекс *p* завжди фіксований приналежністю металовиробу певному типу форми.

Таким чином, ефект структурного розміцнення, викликаний зниженням швидкості охолодження металовиробу на спокійному повітрі зі збільшенням площі поперечного перерізу (або товщини), повністю нівелює, оскільки має місце відносне зміцнення за рахунок зниження рівня нормативних опорів. Виявлені закономірності дозволяють сформулювати загальний принцип геометричного зміцнення, відмінний від наведеного в роботі [9]: при незмінній конкретній формі виробів зростання рівня структурного зміцнення, що супроводжується збільшенням геометричних розмірів, компенсується більш інтенсивним зростанням рівня абсолютного фактичного зміцнення, тобто загальною міцністю. При цьому максимальне зміцнення можна досягти за рахунок вибору форми профілю металопрокату.

З викладеного слід, що високі експлуатаційні характеристики металопродукції можуть бути забезпечені раціональним поєднанням структурних та геометричних параметрів зміцнення.

Виконано розрахунок залежність швидкості охолодження від значення індексу типорозміру або площі поперечного перетину металопрокату ( $\alpha = 66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) для профілів: а – коло із сталі 20Х; б - лист зі сталі 15ХСНД.

Аналіз залежності швидкості охолодження від значення індексу типорозміру дозволяє вибрати нетрадиційну систему розбиття ряду типорозмірів на групи, що відповідають рівням міцності, які базуються на розділенні шкали швидкостей охолодження на ділянки зміни –  $\Delta V$ . Крок розбиття  $\Delta V$  можна вибирати в межах, у яких структура металу, у тому числі за даними ТКД, не має виражених якісних та значних кількісних змін. Так, наприклад, для кола, перший інтервал площ поперечного перерізу, включає індекси типорозмірів {1, 2, 3} і відповідає діапазону швидкостей охолодження  $\Delta V_1 = 0,2 \dots 0,15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , другий інтервал – {4, 5, 6, 7} при  $\Delta V_2 = 0,15 \dots 0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , третій – {8, 9} –  $\Delta V_3 = 0,1 \dots 0,08 \text{ }^\circ\text{C} / \text{с}$ . З аналізу отриманих даних впливає закономірність: зростання швидкості охолодження веде до зменшення ширини інтервалу характерного розміру *h*, причому справедлива залежність



$$h^j = f^{-1} (V^j_{cp} \pm \Delta V/2), \quad (5)$$

де

$$\Delta h^j = h^j_{\max} - h^j_{\min} \quad (6)$$

– ширина інтервалу зміни характерного розміру або груп типорозмірів;

$j = 1, \dots, n$  – порядкові номери груп типорозмірів чи інтервалів зміни швидкостей охолодження;

$$V^j_{cp} = (V^j_{\max} - V^j_{\min}) / 2 \quad (7)$$

– середня швидкість охолодження на  $j$ -м інтервалі;

$$\Delta V = V^{j+1}_{\min} - V^j_{\min} \quad (8)$$

– крок зміни швидкостей охолодження на  $j$ -м інтервалі. За умови нерозривності

$$V^{j+1}_{\min} = V^j_{\max}. \quad (9)$$

Отриманий математичний зв'язок (4) підтверджується нормативно-технічною документацією, згідно з якою [7] аналіз міцнісних характеристик сталей виконується в інтервалах товщин – це спрощує розрахунки та підбір матеріалу для конструкцій.

Отже, геометричні параметри металопрокату істотно впливають на опори руйнування і граничні напруги пружної деформації сталей, і повинні взаємопов'язано поєднуватися з раціональними структурними характеристиками зміцнення.

Таким чином, типові розміри є додатковими класифікаційними ознаками сталей металовиробів.

Для відображення впливу розмірів металовиробів на механічні властивості можна кожній марці стали поставити у відповідність індекс типорозмірів -  $t$  ( $t \in [1; T]$ ), де  $T$  – загальна кількість індексів типорозмірів).

Таким чином, з урахуванням викладеного та результатів роботи [5], можна ввести додаткове позначення ознак марок сталей послідовністю індексів

$$\{mfncpn\}. \quad (10)$$

При цьому фізико-механічні властивості також залежать від значення показника хімічного складу -  $x_s$ .

Очевидним стає те, що індекси, що визначають: вид обробки сталі (термічної, що зміцнює або розміцнює) –  $v$  ( $v \in [1; 2]$ ), стан металу (литий, холодно-деформований, гарячедеформований) –  $c$ , тип профілю перетину або форма металовиробу –  $p$ , вид типорозміру (товщина, діаметр або площа поперечного перетну) –  $t$ , підприємство-виробник –  $f$ , призначення марки сталі –  $n$ , показник хімічного складу –  $x$  і його плавковий номер –  $s$ , повинні виступати як самостійні класифікаційні ознаки марок сталей металовиробів. Їх слід розглядати в сукупності фізико-механічних властивостей зі своїми статистичними характеристиками [10], які також залежать від особливостей технології виробництва та значень кількості елементів в плавочному хімічному складі.

Для зручності представлення характеристик сталей і без втрати спільності можна опускати ті індекси, які у даному завданні вважатимуться постійними чи несуттєвими.

## ВИСНОВКИ

Виконані збір, аналіз характеристик, аналітичне дослідження та розроблено оригінальний підхід до подання сталей та їх марочного сортаменту для металовиробів, що виробляються на різних підприємствах, що дозволило сформувати структури даних та створити їх якісне та кількісне фізико-механічне подання у вигляді інформаційної індексації марок сталей [5, 11, 12].

## ПОСИЛАННЯ

1. Большаков В. И., Флоров В. К., Калиновский С. К. Оптимизация марочного сортамента конструкционных сталей – путь к снижению металлоемкости и повышению экономичности строительных конструкций. Днепропетровск: ДИСИ. – 1989.–77 с.

2. Большаков В. И., Рычагов В. Н., Флоров В. К. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей. - Днепропетровск: Січ, 1994.- 232 с.

3. Юшкевич О. П., Калиновский С. К. Учет эффекта геометрического упрочнения при упорядочении марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей // Теория и практика металлургии / Общегосударственный научно-технический журнал.- Днск, 2002, №4.-с.53-59.

4. Мазур В. Л., Деркач Д. А., Иванов А. П. Состояние и перспективы прокатного производства Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность // Научно-технический и

производственный журнал/ Спецвыпуск.- Днепропетровск, 2000. - № 8-9.-с.8-11.

5. Концептуальные основы классификации и унификации марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей / О. П. Юшкевич, В. К. Флоров, С. К. Калиновский, Е. Н. Власова // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1999. – №8–9. – С. 412–414.

6. Калиновский С. К., Костыря В. Ю., Юшкевич О. П., Флоров В. К., Белогорцева И. Ю. Первичная классификация конструкционных материалов для машиностроения // Строительство, материаловедение, машиностроение / Сб.научн.трудов. Вып.10.-Дн-ск: Gaudeamus, 2000.- с.114-119.

7. СНиП II- 23-81. Стальные конструкции / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1982. - 96 с. - часть II, глава 23. - С. 63.

8. Попова Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Металлургия, 1991.- 503 с.

9. Гуль Ю. П., Чмелева В. С. Геометрически-структурное упрочнение // Проблемы металлургического производства. – Київ: Техніка, 1993.– Вып. 110. – С. 14–21.

10. Юшкевич О. П., Михалев А. И. Многоуровневое оценивание процесса термического упрочнения металлопроката// Современные проблемы металлургии. -Днепропетровск: ГМетАУ.- 1999.- Вып. 1 (посвящается 100-летию подготовки инженеров-металлургов).- С.257-266.

11. Юшкевич О. П., Михалёв А. И. Информационное моделирование предметной области представления марочного сортамента металлопроката // Системні технології. Регіональний межвузівський збірник наукових праць. Вип. 6. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 1999. – С. 149–153.

12. Михалев А. И., Юшкевич О. П., Власова Е. Н., Николаев В. А. Модель системы автоматизированного проектирования процессов термического упрочнения металлоизделий для машиностроения // Автоматизация вспомогательных процессов в машиностроении: Региональный межвузовский сборник научных трудов.-Вып.1.-Днепропетровск:Системные технологии.-1997.-С.51.