

УДК 621.771.06

В.О. Ніколаєв, зав. кафедри, д.т.н., професор

**ПРО РЕКОНСТРУКЦІЮ ШИРОКОШТАБОВИХ СТАНІВ***Запорізька державна інженерна академія*

Выполнен анализ структуры и технологических параметров процессов прокатки на существующих ШСГП и НСХП. Рассмотрены и предложены варианты реконструкции станов с изменением схемы расположения оборудования, которая обеспечивает сокращение длительности и повышение температуры прокатки, снижение энергозатрат и повышение качества готовой продукции.

Ключевые слова: прокатка, стан, полоса, расположение, температура, параметры, качество

Виконано аналіз структури та технологічних параметрів процесів прокатування на існуючих ШСГП і НСХП. Розглянуто та запропоновано варіанти реконструкції станів із змінюванням схеми розташування обладнання, що забезпечує скорочення тривалості та підвищення температури прокатування, зниження енергетичних витрат і підвищення якості готової продукції.

Ключові слова: прокатування, стан, штаба, розташування, температура, параметри, якість

The analysis of structure and technological parameters of rolling processes at existent SFGR and CFCR has been executed. The variants of reconstruction of figures with the change of layout for equipment disposition, providing reduction of duration and increasing of rolling temperature, declines of power inputs and increasing of the quality for finished products have been considered and offered.

Keywords: rolling, mill, stripe, disposition, temperature, parameters, quality

Упродовж останніх років у металургії відбувається інтенсивне поширення технології виробництва гарячекатаної широкоштабової сталі з товстих литих слябів на комплексах МБЛЗ + ШСГП (КМШС), а також тонких і середньої товщини литих слябів на ЛПА (ливарно-прокатний агрегат), що виключають проміжні ланки одержання зливка та сляба на слябінгу [1-3]. Заміна слябінгу в традиційній технології виробництва штаби (зливко-сляб-штаба) на МБЛЗ забезпечує суттєве скорочення витрати металу та енергії на прокатування штаби. Процес КМШС застосовують як під час створення нових виробництв, так і реконструкції існуючих ШСГП з традиційною технологією прокатування штаби. На ШСГП другого та наступних поколінь, а також на ЛПА, прокатні стани мають практично таку ж схему розташування робочих клітей: чорнова група (3...5 клітей у першому разі із додаванням кліті для редукування сляба за шириною та 1...2 кліті у другому разі) та чистова група (5...7 клітей), але з якіснішими характеристиками обладнання, які дозволяють прокатувати штабу з товщиною  $h < 1,5$  мм за швидкості  $v \geq 20$  м/с.

Проте існуючі КМШС під час використання технології ШСГП характеризуються наступними недоліками:

– значна відстань між парами клітей (19...65 м) у чорнових групах і між чорновими та чистовими групами (проміжний рольганг довжиною (60...130 м) сприяють зниженню температури розкату на 100...200 °С на ділянці між першими клітями чор-

нової та чистової груп, що призводить до виникнення значних силових навантажень на валки та головний привід стана, а, отже, до підвищених енергетичних витрат;

– нерівномірність розподілу температури за довжиною проміжного розкату перед першою кліттю чистової групи підвищує подовжню різнотовщинність штаби;

– відсутність натягнення під час прокатування кінцевих ділянок штаби обумовлює їх потовщення та підвищення витрати металу в обрізь;

– суттєві енергетичні витрати, які пов'язано з прискоренням валків чистової групи стана (КМШС, ЛПА), у якому беруть участь усі кліті групи, під час прокатування штаби.

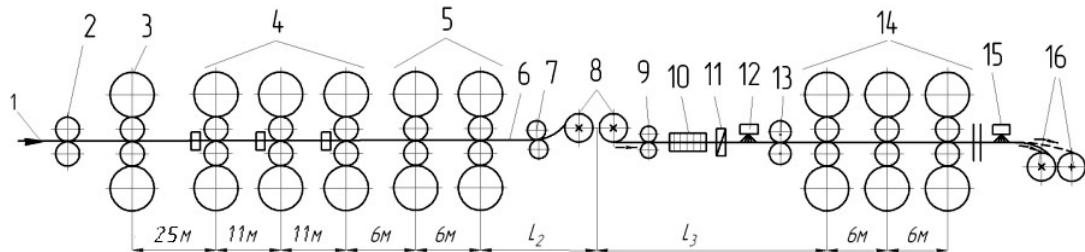
Зазначені недоліки структури та технологічного процесу (окрім останнього пункту) повною мірою відносяться до ШСГП 1680 (ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь») і ШСГП 1700 (ВАТ «Металургійний комбінат імені Ілліча», м. Маріуполь), які є станами першого покоління та потребують корінної реконструкції. В зв'язку з цим автори робіт [4,5] помічають, що практично всі металургійні підприємства України підійшли до порогу рентабельності, тому проблема їх модернізації є найгострішою й актуальною.

У літературі розглядаються деякі варіанти реконструкції ШСГП 1680 і 1700, але вони мають косметичний характер та якоюсь мірою можуть поліпшити техніко-економічні показники виробництва.

Один з варіантів корінної реконструкції ШСГП запропоновано у роботах [6-9], де головною від-

мінністю нової технології прокатування (НТ) від існуючих ШСГП є переміщення основної деформації розкату на кліті неперервної чорнової групи, кількість яких збільшують до 6...7, що забезпечує деформацію розкату за більшої температури металу, зменшення загальної кількості чистових клітей

до трьох з розміщенням перед ними ППП (проміжного перемотувального пристрою) та пристроїв для регулювання температури штаби, застосування незалежного в групах деформаційно-швидкісного режиму прокатування штаби, що виключає перевантаження валків, а також головного приводу стана (рис. 1).



1 - сляб; 2 - окалиноламач; 3 - чорнова кліть «кварто» (універсальна кліть); 4 - універсальні чорнові кліті «кварто» з вертикальними валками; 5 - чорнові кліті «кварто»; 6 - проміжний розкат; 7 - направляючі ролики; 8 - ППП з теплозберігаючим екраном (барабанні моталки); 9 - тягучі ролики; 10 - прохідна індукційна піч; 11 - ножиці; 12 - прискавцевий пристрій; 13 - чистовий окалиноламач; 14 - безперервна чистова група клітей; 15 - прискавцевий пристрій готової штаби; 16 - моталки готової штаби

Рисунок 1 – Схема дев'яти клітьового ШСГП (НТ)

Технічна характеристика пропонованого ШСГП (НТ) відповідає нормам, прийнятим у світовій практиці для станів прокатування широкої штаби й умовам їх реконструкції, та подана у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічна характеристика пропонованого ШСГП (НТ)

Параметр	Чисельне значення
Товщина, мм:	
- сляба	$H = 160...250$
- проміжного підкату	$h_{\text{ПР}} = 3...14$
- готової штаби	$h = 1,0...6,0$
Діаметр валків, мм:	
- робочі	600...1200
- опорні	1300...1650
Окружна швидкість робочих валків, м/с:	
- кліть № 6	6...14
- кліть № 9	10...≥ 20

Детальний порівняльний аналіз параметрів прокатування штаби на ШСГП (НТ) і ШСГП наведено у літературі [6-9,14], тому нижче представлено дані щодо стана 1680 ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» (швидкість прокатування 10 м/с) і стана 1700 ВАТ «Металургійний комбінат імені Ілліча» (швидкість прокатування, м/с: 10, 15 і 20) [8,13]. Розрахунки параметрів прокатування штаби виконано за відомими перевіреними методами [8-11] ( $H = 165$  мм,  $h_{\text{ПР}} = 23/6,1$  мм,  $h = 2,5$  мм, ширина  $B = 1250$  мм, температура перед кліттю № 1  $t_k = 1180$  °С, сталь 08нпс). Нижче наведено порівняння деяких параметрів прокатування на станах ШСГП і ШСГП (НТ) для приблизно однакової товщини розкатів (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри прокатування штаби 2,5 x 1250 мм на ШСГП і ШСГП (НТ)

Параметри	ШСГП 1680			ШСГП (НТ) 1680		
	5	7	10	4	6	9
Кліті	5	7	10	4	6	9
$t_k$ , °С	981	934	832	1106	1053	871
$h$ , мм	14,0	5,7	2,5	16,0	6,1	2,5
$f$	0,331	0,265	0,204	0,269	0,195	0,201
$v$ , м/с	1,79	4,39	10,0	2,48	6,5	10,0
$\rho_{\text{ср}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	217	298	289	149	206	260
$P$ , МН	14,4	11,9	4,6	10,7	8,0	4,3

Як впливає з табл. 2, за рахунок неперервного розташування клітей у чорновій групі на ШСГП (НТ) для порівняної товщини розкату в клітях №№ 5,7 і №№ 4,6 температура металу виявляється вище на ~118 °С, а під час випуску готової штаби – на 39 °С. При цьому на ШСГП (НТ) коефіцієнт тертя у клітях №№ 4-9 зменшується на 5...15 %, напруження течії металу – на 15...20 %, а середнє нормальне контактне напруження – на 25...30 %. Відповідним чином знижуються сила, момент кручення та потужність прокатування штаби.

Під час прокатування одного і того ж профілю штаби ( $v = 10$  м/с в останній кліті) сумарна потужність прокатування (табл. 3) в чистових клітях майже у два рази нижче, а сумарна потужність у всіх клітях ШСГП (НТ) на ~4,0...5,5 % менше, ніж на серійному ШСГП (штаба 2,5 x 1250 мм).

Таблиця 3 – Сумарна потужність прокатування в чистових клітях ( $N_{\text{ч}}$ ) і сумарна потужність у всіх клітях ( $N_{\Sigma}$ )

Параметр, $v$ , м/с	$N_{\text{ч}}$ , кВт		$N_{\Sigma}$ , кВт	
	ШСГП	ШСГП (НТ)	ШСГП	ШСГП (НТ)
10	21548	9823	38296	36772
15	31249	13572	47897	40521
20	42874	16011	59522	42960

Ще більший ефект зниження потужності прокатування стостерігають за швидкості  $v = 15 \dots 20$  м/с, тобто після прискорення стана. Так, сумарна потужність прокатування в усіх клітках стана ШСГП (НТ) знижується порівняно з ШСГП за  $v = 15$  м/с на  $15 \dots 16,5$  % та за  $v = 20$  м/с – на  $26 \dots 27$  % за рахунок зменшення потужності прокатування у перших трьох клітках стана та за меншої швидкості прокатування. Окрім того, більше ніж у два рази зменшується потужність, яку витрачають на прискорення трьох чистових клітей ШСГП (НТ) внаслідок зниження маси частин, що обертаються, порівняно з прискоренням шести клітей ШСГП.

Під час змотування проміжного розкату на ППП після кліті № 6 товщина його задньої ділянки виявляється більше ніж передньої ділянки на  $\sim 0,2$  мм (позначається менша температура розкату та відсутність заднього натягнення). Під час розмотування розкату до кліті № 7 як передню задають його потовщену ділянку, а задня ділянка розкату має меншу товщину та більшу температуру. Така перестановка кінцевих ділянок (навіть без дії індукційної печі та натискних пристроїв) нівелює вплив відсутності заднього натягнення штаби під час прокатування у чистовій групі ШСГП (НТ), внаслідок чого товщина задньої ділянки штаби виявляється на  $0,02$  мм менше ніж товщина її передньої ділянки (тобто  $\delta h_{II} = -0,02$  мм, проти  $\delta h_{II} = 0,075$  мм під час прокатування на серійному ШСГП з ППП).

Чотириохкільтові неперервні стани холодного прокатування (НСХП) 1680 і 1700 вищезазначених підприємств, які введено до експлуатації більше шістдесяти років тому [11], працюють і нині з деяким удосконаленням обладнання та технологічного процесу (конструкція опорних вузлів шийок валків, осьове зміщення та противозгин робочих валків, профілювання валків, режим натягнення штаби). Проте тривала експлуатація головного обладнання та головних приводів робочих валків без заміни обумовлює зниження на  $10 \dots 15$  % швидкості прокатування штаби та, відповідно, продуктивності стана.

Існуючі недоліки процесу прокатування на чотириохкільтових НСХП було закладено під час їх проектування. Для технологічного процесу передбачали паузи у межах  $2 \dots 3$  хвилин між закінченням прокатування одного рулону та початком прокатування наступного рулону, випуск із стана рулонів з потовщеними кінцевими ділянками, що призвело до значних втрат металу у відходи під час їх вилучення ( $3 \dots 4$  %). Наявність потовщених кінцевих ділянок обумовлена недостатнім додатковим обтисненням під час прокатування без їх натягнення. Такий застарілий технологічний процес прокатування штаби зберігається на зазначених станах і,

нині, що не забезпечує необхідну якість продукції та рівень техніко-економічних показників виробництва. Косметичні удосконалення повністю застарілих технологій не в змозі забезпечити необхідне підвищення якості продукції та техніко-економічних показників виробництва прокату. Тому потрібним є корінне вдосконалення обладнання та технологічного процесу виробництва штаби на чотириохкільтових НСХП.

Можливі декілька варіантів модернізації зазначених станів. Поза сумнівом, найпривабливішим варіантом реконструкції є перетворення технологій станів 1680 і 1700 на класичний нескінченний процес прокатування штаби із послідовним розташуванням НТА (неперервний травильний агрегат) + НСХП. Очевидно, це можливо, але потребує значних інвестицій на будівництво практично нового виробництва.

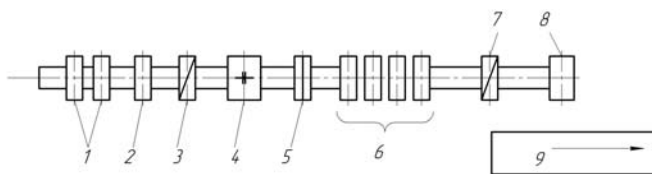
Найбільш реальним варіантом реконструкції, на наш погляд, є введення до технологічного процесу нового додаткового обладнання, що забезпечує нескінченний або, принаймні, напівнескінченний процес прокатування штаби за незмінним складом головного обладнання. Такі процеси, за менших витрат, можуть забезпечити одержання штаби з високою якістю геометричних параметрів профілю, а також високі техніко-економічні показники виробництва (рис. 1).

Один з варіантів вдосконалення виробництва штаби шляхом створення суміщеного травильно-прокатного агрегату (СТПА) на існуючій площі цеху холодного прокатування, де забезпечують нескінченний процес прокатування штаби, представлено у роботах [6-9,14]. У цьому варіанті передбачають установку кліті «кварто» з необхідним допоміжним обладнанням у хвостовій частині НТА для забезпечення обтиснення гарячекатаної штаби до  $30 \dots 35$  %, а у лінії НСХП – додаткове розміщення правильної і правильно-натяжної машин, летючих ножиць до та після стана, рухливої стикозварювальної машини для зварювання кінців суміжних штаб під час прокатування штаби на НСХП із швидкістю  $\sim 0,15$  м/с, тобто без зупинки стана, та двох моталок для змотування готової штаби. Достойнства цього процесу прокатування подано у роботах [6-9,14].

Наступним варіантом реконструкції, з меншими інвестиціями, може бути створення напівнескінченного процесу прокатування штаби (рис. 2), де, на відміну від СТПА, у лінії НТА є відсутньою робоча кліть «кварто», на НСХП встановлено стаціонарну стикозварювальну машину, а також одну моталку за станом.

Під час прокатування передній кінець першого рулону з одного із розмотувачів 1 задають у валки кліті № 1 за швидкості їх обертання  $0,2 \dots 0,4$  м/с,

прокатують за заданим режимом на НСХП 6 і змотують на моталку 8 із збільшенням швидкості до 10...12 м/с у чистовій кліті. Після виходу задньої ділянки першого рулону з розмотувача 1 швидкість прокатування в останній (чистовій) кліті № 4 зменшують до 0,5...1,0 м/с. Швидкість задньої ділянки гарячекатаної штаби першого рулону для клітей стана у цьому разі дорівнюватиме 0,15...0,33 м/с. Задню ділянку штаби піддають правці на правильній машині 2, відрізують дефектну частину довжиною 150...300 мм на летючих ножицях 3 і підводять до стикозварювальної машини 4, де він чекає підходу передньої ділянки наступного рулону з другого розмотувача 1, який також піддають правці на машині 2, різанню на летючих ножицях 3 і потім подають до стикозварювальної машини 4. Процес стикового зварювання суміжних ділянок рулонів триває до 50...60 с і за цей час летючі ножиці 7 виконують відділення штаби, що знаходиться в стані, від прокатої штаби, що знаходиться в рулоні на моталці 8. Далі рулон знімають і передають його на приймач 9.



1 - розмотувач; 2 - правильна машина; 3 - летючі ножиці; 4 - стикозварювальна машина; 5 - натяжний пристрій; 6 - НСХП; 7 - летючі ножиці; 8 - моталка; 9 - приймач рулонів

**Рисунки 2** – Схема розташування обладнання НСХП із напівнескінченим процесом прокатування:

Після зварювання зазначених ділянок (зі зняттям ґрату) продовжують процес прокатування штаби та кінцевих ділянок попереднього й наступного рулонів за швидкості 0,5...2,0 м/с для кліті № 4, а прокату передню ділянку попереднього (першого) рулону задають у вільну моталку 8. Після набирання двох витків штаби на моталку 8 здійснюють прискорення чотирьохклітьового стана до швидкості 10...12 м/с. На цьому агрегаті весь процес прокатування зварних рулонів виконують за наявності постійного натягнення штаби. Після завершення прокатування другого рулону процес підготовки наступного рулону до прокатування повторюють. Застосування напівнескінченного процесу на НСХП дозволяє прокатувати кінцеві ділянки штаби з натягненням і сприяє зниженню енергосилових параметрів прокатування.

Гідністю такого варіанту модернізації (реконструкції) НСХП є також виключення потовщених ділянок а, отже і втрат металу в обрізь у кількості 3...4 %. У такому процесі для кліті № 1, замість насічених (5...6 мкм  $Ra$ ), застосовують робочі валки із шліфованою поверхнею та шорсткістю

1,2...1,5 мкм  $Ra$ , що забезпечує не лише зниження енергосилових параметрів прокатування, але і зменшення зношення особливо опорних валків. За даними робіт [14-16] діаметральне зношення кожного опорного валка кліті № 1 НСХП 1680, що працює з насіченими робочими валками, складає (1,0...2,0 мм, що у 3...5 разів більше порівняно зі зношенням під час використання шліфованих робочих валків. Окрім того, застосування для кліті № 1 шліфованих робочих валків сприяє поліпшенню якості поверхні штаби.

Недоліком пропонованого процесу слугує створення на штабі відбитків від валків під час її зупинки для стикового зварювання кінців суміжних рулонів. Проте такі дефекти частково можуть усуватися до кінця прокатування та мало впливати на витрату металу. На наш погляд, навіть за наявності ділянки штаби довжиною 10...15 м з відбитками, але з номінальною товщиною, а не з товщиною гарячекатаної штаби, принаймні, у три рази скоротиться витрата металу в обрізь. Окрім того, щоб уникнути цих дефектів стикове зварювання кінців суміжних гарячекатаних штаб можна виконувати під час прокатування штаби на повзучій швидкості, за наявності деякого запасу штаби (петлі) у межах до 10 м перед натяжним пристроєм 5.

**Висновки.** Реконструкція працюючих ШСГП з перетворенням їх на стани типу ШСГП (НТ) зі скороченням кількості клітей на одну дозволяє забезпечити:

- зниження сумарної потужності прокатування на стані на 4...27 % за рахунок підвищення температури прокатування та зменшення в чистовій групі кількості клітей (з шести до трьох), що беруть участь у процесі прискорення штаби після зачеплення її передньої ділянки моталкою;

- підвищення точності прокатування штаби та зниження витрати металу в обрізь за рахунок зменшення товщини задньої кінцевої ділянки і температурного «клин» (порівняно з традиційними ШСГП).

Застосування напівнескінченного процесу прокатування на чотирьохклітьових НСХП за об'язкової наявності натягнення кінцевих ділянок штаби забезпечує:

- обтиснення кінцевих ділянок із зменшенням їх товщини до номінального значення та зниження витрати металу в обрізь;

- виключення непродуктивних періодів завантаження штаби в стан і випуску її із стана, що зменшує тривалість пауз;

- зниження енергосилових параметрів прокатування та підвищення стійкості опорних валків під час заміни у кліті № 1 насічених робочих валків на шліфовані валки.

**Бібліографічний список**

1. **Коновалов, Ю. В.** Справочник прокатчика [Текст] / Ю. В. Коновалов. – Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. – М. : Теплотехника, 2008. – 640 с. – Библиогр.: с. 626-640. – 300 экз. – ISBN 5-98457-060-2.
2. **Стелла, Ф.** Совершенствование прокатки сверхтонкой полосы из непрерывнолитых тонких слябов [Текст] / Ф. Стелла, А. Карбони, П. Бабиш, И. Фарук // Сталь. – 2003. – № 11. – С. 58-65. – Библиогр.: с. 65.
3. **Грот, И.** Новый способ горячей прокатки тонких полос [Текст] / И. Грот, Л. Сьеревогель, М. Корнелиссен и др. // Черные металлы. – 2004. – Июль-август. – С. 30-32. – Библиогр.: с. 32.
4. **Мазур, В. Л.** Первоочередные задачи и пути их решения при модернизации листопрокатных мощностей Украины [Текст] / В. Л. Мазур, А. К. Голубченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2 (279). – С. 1-5. – Библиогр.: с. 5.
5. **Мазур, В. Л.** Стратегические направления развития теории и технологии прокатного производства в условиях нарастающего дефицита [Текст] / В. Л. Мазур // Пластическая деформация металлов : 10 междунар. науч.-техн. конф., 19-23 мая. 2014 г. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – С. 7-11. – Библиогр.: с. 11.
6. **Николаев, В. А.** Варианты реконструкции непрерывных станов для прокатки полос [Текст] / В. А. Николаев, А. А. Васильев // Производство проката. – 2012. – № 6. – С. 2-9. – Библиогр.: с. 9.
7. **Николаев, В. А.** Исследования параметров, способы и устройства прокатки полос [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : Акцент Инвест-Трейд, 2012. – 264 с. – Библиогр.: с. 245-260. – 200 экз. – ISBN 978-966-2602-14-2.
8. **Николаев, В. А.** Теория и технология прокатки металла [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : Акцент Инвест-Трейд, 2013. – 232 с. – Библиогр.: с. 211-226. – 200 экз. – ISBN 978-966-2602-40-1.
9. **Николаев, В. А.** Теория прокатки : монография [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : ЗГИА 2007. – 228 с. – Библиогр.: с. 218-224. – 300 экз. – ISBN 976-966-7101-86-2.
10. **Николаев, В. А.** Процессы производства широкополосной стали [Текст] / В. А. Николаев // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2014. – Вип. 1 (31). – С. 143-150. – Библиогр.: с. 149-150.
11. **Николаев, В. А.** Расчет усилия при горячей прокатке [Текст] / В. А. Николаев // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 11. – С. 24-30. – Библиогр.: с. 30.
12. **Коновалов, Ю. В.** Справочник прокатчика [Текст] / Ю. В. Коновалов. – Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос. – М. : Теплотехника, 2010. – 608 с. – Библиогр.: с. 596-608. – 300 экз. – ISBN 5-98457-084-х.
13. **Николаев, В. А.** Анализ параметров прокатки на широкополосных станах [Текст] / В. А. Николаев, А. А. Васильев // Сталь. – 2014. – № 3. – С. 47-52. – Библиогр.: с. 52.
14. **Николаев, В. А.** Эффективность технологий производства широкополосной стали / [Текст] В. А. Николаев // Пластическая деформация металлов : 10 междунар. науч.-техн. конф. 19-23 мая 2014 г. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – С. 41-47. – Библиогр.: с. 47.
15. **Николаев, В. А.** Профилирование и износостойкость листовых валков [Текст] / В. А. Николаев. – Київ : Техніка, 1992. – 160 с. – Библиогр.: с. 152-156. – 300 экз. – ISBN 5-335-009554-3.
16. **Николаев, В. А.** Прокатка широкополосной стали [Текст] / В. А. Николаев, А. Ю. Путники. – Київ : Освіта України, 2009. – 268 с. – Библиогр.: с. 249-262. – 300 экз. – ISBN 978-966-188-052-7.
17. **Николаев, В. А.** Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков [Текст] / В. А. Николаев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 2 (242). – С. 34-37. – Библиогр.: с. 37.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2014 р.  
Рецензент, проф. В.В. Чигиринський

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>