

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ОРОБЦЕВ Юрій Вікторович

ДОСЛІДЖЕННЯ, ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ  
ЕФЕКТИВНОСТІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ВИПЛАВКИ ТА РОЗЛИВАННЯ КОНВЕРТЕРНОЇ СТАЛІ

Спеціальність 05.16.02 - "Металургія чорних металів"

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття вченого ступеню  
кандидата технічних наук

ДОНЕЦЬК 1997



Дисертація є рукописом

Роботу виконано в Донецькому державному технічному  
університеті

Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор  
О.О. Троянський

**ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:**

Доктор технічних наук, професор О.В. Носоченко

Кандидат технічних наук, доцент А.Х. Димніч

Провідна організація- Інститут чорної металургії НАН України

Захист дисертації відбудеться " 21 " ТРАВНЯ 1997 р.  
о 12 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 06.04.03 при  
Донецькому державному технічному університеті в аудиторії  
5.353 (340000, м. Донецьк, вул. Артема, 58)

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.  
Відгуки на автореферат, завірені печаткою, просимо надсилати  
за адресою: 340000, м.Донецьк, вул. Артема, 58, ДонДТУ.  
Вченому секретарю.

Автореферат розіслано " 18 " КВІТНЯ 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради

доктор технічних наук, професор

С.М. Саф'яни

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Розробка та впровадження технологічних рішень, що забезпечують економію енергетичних та сировинних ресурсів, збільшення виходу придатної продукції та підвищення якості сталі є найважливішою проблемою ефективного розвитку металургії України. Враховуючи постійне зростання частки конвертерної сталі у загальному обсязі металургійного виробництва, а також необхідність максимально можливого використання при цьому власних енергетичних та сировинних ресурсів України, слід вважати вельми актуальною проблему удосконалення технологій виплавки, доводки, розкислення та розливання конструкційних сталей, перш за все, якісних, що виробляються у кисневих конвертерах, а також задачу розробки та впровадження АСУ технологічними процесами.

В зв'язку з цим постає необхідним виконання в умовах конкретного виробництва досліджень у напрямку зменшення частки чавуну та, відповідно, збільшення кількості брухту в металошихті за рахунок використання додаткових теплоносіїв, зокрема, вугілля, а також раціонального керування працею конвертерної фурми, пошуку нових шляхів економії розкислювачів та легуючих компонентів, реалізації ефективних методів позапічної обробки та розливання сталі, які забезпечують підвищення якості металу та зменшення його витрат у вигляді обрізи та браку. З метою оперативного комплексного управління згаданими вище технологічними процесами виробництва конвертерної сталі є необхідним використання АСУ ТП у конвертерному цеху. Її впровадження потребує створення математичних моделей, які надійно описують технологічні процеси виробництва конвертерної сталі з точки зору оперативного управління його технологічними параметрами. Порівнююча оцінка ефективності технологічних процесів, особливо при комплексній реалізації технічних рішень, часто буває утрудненою внаслідок відсутності об'єктивних узагальнюючих критеріальних показників, використання яких дозволило б однозначно визначити кінцевий результат розробок незалежно від періоду їх впровадження.

ЛІС М. Б. Стефанюк  
 А. П. Україна

Дисертаційна робота виконувалась у ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" згідно з галузевими координаційними планами та тематичними планами НДДКР підприємства. При цьому пошукувач був керівником роботи від заводу, або безпосереднім виконавцем основних етапів досліджень, результати яких відображені у дисертації.

Мета роботи. Розробка математичних моделей управління виробництвом конвертерної сталі, вдосконалення технологічних методів регулювання окисленості металу, аналіз ефективності розроблених та впроваджених в ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" ресурсозберігаючих процесів виплавки, позапічної обробки та розливання конвертерної сталі з використанням запропонованого критеріального підходу.

На підставі результатів виконаних досліджень у дисертації викладені науково обгрунтовані технічні та технологічні рішення, розробка та реалізація яких вносять значний внесок в прискорення науково-технічного прогресу.

Ідея роботи. Комплексний підхід до рішення проблеми підвищення ефективності та якісних показників конвертерного виробництва з використанням критеріальної методики оцінки результатів та методів математичного моделювання технологічних процесів.

Основні методики дослідження. Застосування методу критеріальної оцінки ефективності технологій: математичне моделювання різних етапів виробництва конвертерної сталі, засноване на використанні результатів попередніх плавок позитивної вибірки; застосування стандартних методів випробувань та контролю якості сталі; поєднання безпосередніх вимірювань необхідних параметрів конвертерної плавки з контролем тісно зв'язаних з ними непрямих показників; обробка експериментальних даних на персональних комп'ютерах з отриманням емпіричних залежностей.

Основні положення, які винесені на захист, та їх наукова новизна:

1. Розроблені математичні моделі розрахунку складу вихідної шихти.

управління процесом продувки, доводки плавки та розкислення сталі, які можуть застосуватися при створенні АСУ конвертерною плавкою.

Новизна моделей полягає в тому, що стосовно конвертерного процесу як об'єкту управління з неконтрольованим виходом, забезпечується можливість поточного використання накопиченого позитивного досвіду управління від плавки до плавки, а також врахування додаткового впливу неконтрольованих факторів.

2. Розроблений критеріальний метод оцінки ефективності технологічних процесів та їх порівнюючого аналізу.

Використання комплексного критерію ефективності технічного та технологічного рішення, який включає критерії, що враховують змінення продуктивності агрегату, витрат на виробництво та якісних показників процесу, дозволяє порівняти результати реалізації нових технологічних процесів незалежно від періоду їх впровадження та рівня цін, які склалися, а також одночасно оцінити і їх потенційну економічну ефективність в поточних умовах виробництва.

3. Результати порівнюючого аналізу ефективності технологічних процесів конвертерної плавки, спрямованих на зменшення витрат чавуну та підвищення частки брухту у шихті, а також нових та вдосконалених методів економного розкислення, позапічної обробки та розливання сталі.

Встановлено, що виходячи з критерію зменшення матеріальних витрат, перевагу мають технології конвертерної плавки з заливанням чавуну у два етапи та з попереднім підогрівом брухту у конвертері, але їх реалізація призводить до найбільшого зниження продуктивності агрегату.

По критерію змінення продуктивності конвертера перевагу слід віддати технологіям плавки з циклічним переміщенням фурми та з вводом антрациту по ходу плавки. Але найбільш високі комплексні показники можуть бути забезпечені в разі реалізації комбінованих технологій конвертерної плавки. Високі значення критеріїв зниження витрат та підвищення якісних

показників виробництва забезпечує реалізація швидкісного розливання конвертерної сталі згори.

4. Обґрунтовано необхідність змінення положення конвертерної фурми на протязі усього періоду плавки з метою оперативного управління нагріванням шихти, фізико-хімічними, аерогідродинамічними та теплообмінними процесами в конвертері, ступінню окисленості сталі перед її випуском у ковш.

Встановлено, що технологія конвертерної плавки з циклічним переміщенням фурми дозволяє знизити витрати чавуну у меншій мірі, ніж інші методи, але потребує мінімального зменшення продуктивності конвертера, не приводить до підвищення концентрації сірки у метали, забезпечує ефективне дожигання СО без помітного зниження стійкості футеровки агрегату. Окисленість металу в значній мірі залежить не тільки від інтенсивності продувки та складу ванни, але й від положення фурми на заключній стадії процесу. Запропоновано метод управління ступінню окисленості киплячої сталі шляхом короткочасної продувки готового металу перед випуском.

Практична значимість роботи. Створені математичні моделі управління конвертерною плавкою були використані при розробці АСУ ТП виробництва конвертерної сталі, впровадження якої в ККЦ ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" забезпечило підвищення надійності управління процесом, підвищення частки плавок, що відповідають умовам замовлень, зростання виходу придатної продукції та зменшення витрат вогнетривких матеріалів. Результати досліджень були використані при розробці технологічних параметрів виробництва конвертерної сталі з присадкою вугілля АС по ходу продувки, підігрівом металобрухту за рахунок спалювання газового вугілля, з циклічним переміщенням фурми, які забезпечують економію чавуну. Обґрунтовані технологічні параметри швидкісного розливання конвертерної сталі згори, методів управління ступінню окисленості киплячої та напівспокійної сталей на стадіях виплавки та розливання, які

забезпечили зростання виходу придатного прокату, економію розкислювачів та вогнетривких матеріалів. При безпосередній участі пошукувача були розроблені нові конструкції пристроїв для сифонного розливання сталі.

Реалізація результатів роботи у промисловості. В умовах ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" були впроваджені такі технологічні процеси з використанням результатів дисертаційної роботи:

- ресурсозберігаючі технології виробництва конвертерної сталі зі зменшеними витратами чавуну: з присадкою вугілля АС по ходу плавки, з підігрівом брукхту спалюванням газового вугілля, з циклічним переміщенням конвертерної фурми ( А.С. №№ 621733, 722952, 1250584, 1508578 );
- вдосконалені режими продувки ванни шляхом управління роботою конвертерної фурми, які забезпечують регулювання окисленості металу, попередження викидів шлакометалевої емульсії з конвертеру та зменшення зносу футеровки ( патенти України №№ 941, 1249 );
- технологія економного розкислення напівпокоїної сталі, яка забезпечує економію розкислювачів та підвищення виходу придатного прокату ( патент України № 820, А.С. №1073296 );
- технологія швидкісного розливання конвертерної сталі згори, яка забезпечує підвищення виходу придатного прокату та підвищення стійкості сталерозливного обладнання ( патенти України №№ 1053, 1385, 6861 );
- засоби та пристрої для сифонного розливання сталі, які забезпечують зниження витрат та підвищення якості зливків ( патенти України №№ 1463, 2831, А.С. № 1693784 );
- АСУ ТП конвертерною плавкою, при розробці якої були використані математичні моделі, створені при виконанні цієї роботи.

Сумарний економічний ефект від впровадження цих технологій у перерахунку в гривні склав 4302 тис. гривень на рік. Частка економічного ефекту пошукувача складає 700 тис. гривень.

Апробація роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися на Всесоюзних науково-технічних конференціях та семінарах: молодих металургів-дослідників ( м. Донецьк, 1976 р., м. Тула, 1978 р. ), II конф. по тепломасообмінним процесам у ваннах сталеплавильних агрегатів ( м. Жданов, 1976 р. ), семінарі з проблем розливання сталі ( м. Москва, ВДНГ, 1976 р. ), V та VI конф. " Теорія та практика киснево-конвертерних процесів. " ( м. Дніпропетровськ, 1977 р., 1981 р.), VIII конф. " Вдосконалення процесів розливання сталі. " ( м. Москва, 1981 р. ), XI конф. по проблемам зливку ( м. Волгоград, 1990 р. ), а також на наукових семінарах у Донецькому державному технічному університеті ( 1996-1997 р.р. ).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи надруковані у 3 монографіях та 40 статтях, захищені 20 авторськими свідоцтвами та 8 патентами України на винаходи. Перелік основних наукових праць наведено у авторефераті.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів та заключення ( загальних висновків ); включає 115 сторінок друкованого тексту, 14 малюнків, 23 таблиці та 1 додаток: список використаних джерел вміщує 197 найменувань.

Особистий внесок пошукувача полягає у створенні математичних моделей управління конвертерною плавкою, методу критеріальної оцінки ефективності технологічних рішень, на базі якого виконан порівнюючий аналіз комплексу ресурсозберігаючих технологій виробництва конвертерної сталі, розробці нових засобів керування окисленістю сталі та режимів продувки на завершальній стадії процесу в умовах зниження частки чавуну у шихті.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У розділі I зроблено аналіз літературних даних у напрямку вдосконалення технології конвертерної плавки, позапічної обробки та розливання сталі. Аналізуються перспективи та можливості зменшення частки чавуну у металошихті в разі застосування додаткових теплоносіїв, перш за все,

вугілля, поліпшення теплового балансу плавки, управління роботою фурми. Розглянуто досвід у напрямку розливання сталі під шлаком, використання шлакових сумішей для додаткового розкислення та легування сталі, підвищення якості злиwkів та виходу придатного металу. Викладено принципи створення математичних моделей процесів конвертерного виробництва сталі і перспективи розробки АСУ ТП плавки.

У розділі 2 наведені характеристика об'єкту досліджень, умови проведення експериментів у ВАТ "Єнакієвський металургійний завод", методи досліджень та контролю конвертерної плавки, які застосовувались у роботі, принципові підходи до створення математичних моделей управління технологією виробництва конвертерної сталі.

Розділ 3 присвячено розробці математичних моделей управління виробництвом конвертерної сталі з оцінкою їх застосування при створенні АСУ ТП. Множину керуючих впливів розділено на впливи, які визначають до початку ( статичне управління ), а також під час продувки ( динамічне управління ), та в періоди коректування плавки та її розкислення.

Конвертерний процес віднесено до об'єктів управління з неконтрольованим виходом, бо значення вектору вихідних параметрів вимірюється тільки після закінчення плавки. Це потребує поточного використання накопиченого позитивного досвіду управління від плавки. Тому було реалізовано підхід, що базується на використанні непараметричних оцінок умовного математичного очікування. Технологічний цикл було описано у вигляді вектору початкового стану циклу ( параметри агрегату, брукхту, чавуну та ін. ), вектора вихідних величин ( хімічний склад та температура металу, шлаку ) та векторною траєкторією управління ( положення фурми, розрахунок дугтя, силучих та ін. ). Як вихідні параметри, що вимірюються с високою надійністю і мають тісний зв'язок з температурою та кількістю компонентів у ванні, були використані параметри газу, що відходить, газоходу та фурми, а також акустичного контролю, вібрації конвертеру, дані погрузного зонду. Перевагу було віддано лінійним моделям зміни вихід-

них, параметрів від факторів виробництва, що контролюються. З метою врахування впливу неконтрольованих обурювань були передбачені елементи адаптації вільних членів системи рівнянь шляхом внесення поправок.

Модель статичного управління плавкою в умовах ЄМЗ (рівняння для розрахунку шихти) містить рівняння для визначення кількості кисню на плавку ( $V$ ,  $m^3$ ), маси вапняку ( $m_{\text{вк}}$ , т), вапна ( $m_{\text{в}}$ , т), плавикового шпату ( $m_{\text{ш}}$ , т), заданого режиму дуття  $V_3/H_3$  (відношення заданої витрати кисню,  $V_3$ ,  $m^3/\text{хв}$  до заданої середньоінтегральної за продувку відстані торця фурменого кінцевика до рівня спокійного металу,  $H_3, \text{м}$ ). Приклади рівнянь наведені нижче:

$$V = V^0 + 30(m_{\text{л}} - m_{\text{л}}^0) + 2,9/m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0 / (m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0) + 8(m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0) + 190(\text{Si}_{\text{ч}} - \text{Si}_{\text{ч}}^0) - k_1[f_1(C_{\text{МЗ}}) - f_1(C_{\text{МЗ}}^0)] - [f(m_{\text{вк}}) - f(m_{\text{вк}}^0)] + 40(m_{\text{в}} - m_{\text{в}}^0) + 130(m_{\text{ш}} - m_{\text{ш}}^0) + 150(H_3 - H_3^0) + \Delta V^1; \quad (1)$$

$$m_{\text{в}} = m_{\text{в}}^0 - 0,1(m_{\text{л}} - m_{\text{л}}^0) + 0,08(m_{\text{ч}} \text{Si}_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0 \text{Si}_{\text{ч}}^0) + \Delta m_{\text{в}}^1; \quad (2)$$

де  $m_{\text{л}}$ ,  $m_{\text{ч}}$  - маса на плавку відповідно брухту та чавуну, т;

$\text{Si}_{\text{ч}}$  - масова доля кремнію у чавуні, %;  $C_{\text{МЗ}}$  - задана масова доля вуглецю в металі в кінці продувки, %;  $k_1$  - коефіцієнт регресії, що уточнюється періодично;  $f_1(C_{\text{МЗ}})$ ,  $f(m_{\text{вк}})$  - функції, які визначаються по емпіричним рівнянням (наведені у тексті дисертації),  $\Delta V^1$ ,  $\Delta m_{\text{в}}^1$  - поправочні коефіцієнти.

Визначені також умови введення вапна, вапняку та інших охолоджувачів в залежності від умов нагрівання брухту. Випробування статичної моделі на 160 т конвертерах ЄМЗ дало такі результати: для сталей з  $C_{\text{мас}} < 0,12\%$  середньоквадратичне відхилення склало  $0,042\%$ , кількість з відхиленням по температурі  $\pm 15^\circ\text{C}$  склала  $72\%$ ; кількість плавок, що не потребують коректуючих додувок, підвищилась з  $43,6$  до  $66\%$ .

Алгоритм управління продувкою у динамічному режимі з елементами замкненого управління складено, виходячи з позитивного досвіду на ЄМЗ по керуючим каналам витрати кисню, положення фурми та дозування сипучих матеріалів.

Максимально можлива інтенсивність продувки в першій період,  $V_n$ , ( $\text{м}^3/\text{хв.}$ ) визначається, як:

$$V_n = V_n^0 + 115 \lg(t_c/t_c^0) + 216 \lg(\text{Si}_q/\text{Si}_q^0) + (y_1 - y_1^0); \quad (3)$$

де  $t_c$  - температура чавуну,  $^{\circ}\text{C}$ .  $y_1$  - коефіцієнт, що визначається насипною щільністю брухту.

Витрату кисню в період інтенсивного зневуглюювання,  $V$ ,  $\text{м}^3/\text{хв.}$  змінюють, виходячи з умов пропускної спроможності газовідводного тракту, яку контролюють по температурному лінійному розширенню екранних труб газолоду ОКГ ( $\Delta l$ , мм):

$$V = V^0 + 982(V_c^0 - V_c) + 36,4(\Delta l^0 - \Delta l); \quad (4)$$

де  $V_c$  - швидкість зневуглюювання ванни,  $\% / \text{хв.}$

Алгоритм управління положенням фурми складено для випадку проведення плавки з залишенням частини кінцевого шлаку попередньої плавки. В першому періоді відстань торця фурми над рівнем спокійної ванни ( $H_n$ , калібр) визначається в залежності від маси залишеного шлаку ( $m_{\text{шл}}$ , т), насипної щільності брухту, що визначається коефіцієнтом  $y_2$  (змінюється від -0,75 до 3) та витрати кисню ( $V_n$ ,  $\text{м}^3/\text{хв.}$ ):

$$H_n = H_n^0 - 0,85(m_{\text{шл}} - m_{\text{шл}}^0) + (y_2 - y_2^0) + 0,89(\sqrt{V_n} - \sqrt{V_n^0}) + \Delta H^1; \quad (5)$$

де  $\Delta H^1$  - поправка до положення фурми, калібр.

Тривальність першого періоду визначається, виходячи з кількості продукту кисню, яка порівнюється з заданим значенням. Хід шлакоутворення контролюють по сигналам про акустичну характеристику продувки та на-

липання шлаку на фурму. У другому періоді положення фурми встановлюється таким, як і у плавках позитивного досвіду ( $H=H^0$ ). У випадку відхилення режиму шлакоутворення додається корекція для положення фурми  $\Delta H$ , визначення якої наведено у дисертації.

Реалізація моделі динамічного управління у промисловому виробництві дозволила зменшити тривалість плавки на 1.5 хв., скоротити угар заліза на 0.5 % та брак до 1 %, підвищити стійкість футеровки конвертерів, зменшити витрату вогнетривів на 3 %, підвищити кількість контрольованих плавок на 10 % та скоротити витрати феросплавів на 1%.

Модель доведення плавки враховує як можливість додувки з нагріванням, коли управляючим фактором є кількість кисню на додувку ( $\Delta V_d, \text{ м}^3$ ) з визначенням також необхідних: зміни відстані торця фурми від рівня спокійного металу ( $\Delta H_d$ ), тривалості додувки ( $\Delta t_d, \text{ хв}$ ), кількості кисню на нагрівання при додувці ( $\Delta V_{н.д.}, \text{ м}^3$ ), так і можливість охолодження, коли управляючим фактором є охолоджуючі добавки, в основному, вапняк ( $\Delta m_{\text{к.д.}}$ ). Система рівнянь для моделі доведення плавки наведена у дисертації.

В розробленій моделі розкислення сталі на початку плавки визначається груба доза розкислювачів, потім - точна розрахункова маса феросплава на плавку ( $m_{\text{фс}}, \text{ т}$ ) з врахуванням масової долі елемента - розкислювача в сталі перед випуском у ківш ( $R_M, \%$ ) та коефіцієнту засвоєння елемента ( $v_R$ );  $a_1, a_2$  - коефіцієнти :

$$m_{\text{фс}} = m_{\text{фс}}^0 - a_1 [R_M^0 v_R - R_M v_R^0 + a_2 (v_R^0 - v_R)] / (v_R \cdot v_R^0); \quad (6)$$

Інші рівняння наведені у дисертації. Застосування розрахунку розкислювачів в практиці роботи ККЦ ЄМЗ дозволило забезпечити економію феросплавів у середньому 25 кг на плавку.

В розділі 4\* наведені результати порівнюючого аналізу ефективності

---

\* Деякі підрозділи розділу 4 виконані під керівництвом д.т.н. професора О.О. Казакова.

застосування нових технологічних рішень по вдосконаленню процесу виробництва конвертерної сталі, які були створені та реалізовані при безпосередній творчій участі пошукувача. З цією метою було запропоновано застосування комплексного критерія ефективності технічного та технологічного рішення ( $K$ ), використання якого з врахуванням обсягу виробництва та вартості готової сталі дозволить оцінити і потенційну економічну ефективність процесу:

$$K = a_1 \cdot K_n + a_2 \cdot K_3 + a_3 \cdot K_k ; \quad (7)$$

тут  $K_n = (\Delta\tau/\tau^0) \cdot R$  - критерій можливої зміни продуктивності агрегату внаслідок впливу на тривальсть плавки ( $\tau$ ):  $\Delta\tau = \tau^0 - \tau$ ;

$R$  - коефіцієнт, що залежить від рівня рентабельності:

$K_3 = \sum_{i=1}^n (\Delta Z_i / Z_i^0) \cdot D_i$  - критерій змінення витрат на виробництво по кожній статті, що змінюється, ( $Z_i$ ):  $\Delta Z_i = Z_i^0 - Z_i$ ;  $D_i$  - ступінь впливу  $i$ -го фактору, прийнята, як відносна цього частка у загальних витратах:

$K_k = \sum_{i=1}^m K_{ki}$  - критерій змінення якісних показників процесу, що включає зміну виходу жидкої сталі, виходу придатного прокату, змінення частки плавок, які переадресуються у більш низьку категорію якості та ін.

$a_1, a_2, a_3$  - коефіцієнти, які у загальному випадку рівняються 1, але можуть набувати і іншого значення (наприклад, для  $a_1 < 1$ ) в залежності від резерву продуктивності конвертера та категорії виробляємої сталі.

Застосування критеріального підходу дозволяє виконати "безвартісне" порівнювання ефективності технологій, які впроваджувалися в різний час, а також оцінити можливість їх реалізації в комплексі з іншими технологічними заходами. В таблиці 1 наведені значення критеріїв для ряду технологій конвертерної плавки в умовах ЄМЗ.

Використання антрациту АС як додаткового теплоносія, що присаджується під час завалки разом з вапном, забезпечує економію чавуну до 20-

25 кг/т сталі при одночасному деякому підвищенні виходу жидкої сталі. Підвищення витрати вугілля з 4 до 9 кг/т сталі забезпечує більш значне зменшення витрат ( в основному, за рахунок зменшення частки чавуну ), збільшення якісних показників процесу, але більш суттєве зниження продуктивності конвертера. Внаслідок збільшення в сталі концентрації сірки за рахунок тої, що входить у склад вугілля, така технологія без додаткових методів позапічної обробки може ефективно використовуватися лише при виробництві сталей звичайної якості. Виходячи з запропонованих у роботі критеріїв оптимізації показана можливість підвищення ефективності використання вугілля при реалізації цієї технології.

Використання газового вугілля для попереднього підгріву брухту у конвертері дозволяє підвищити коефіцієнт використання палива в 1,5 - 2 рази, зменшити показники витрат, але збільшить значення  $K_n$  у порівнянні з попередньою технологією (таблиця 1), що може зробити її використання доцільним лише при наявності суттєвого резерву продуктивності конвертера. Наявності значного потенційного резерву часу роботи конвертера потребує і реалізація технології плавки з заливанням чавуну у два етапи, коли нагрівання брухту здійснюється газами, які виділяються під час продувки першої порції чавуну. Але така технологія забезпечує максимальні показники зниження витрат ( $K_3$ ) та сумарного критерію  $K^1 = K_3 + K_k$ , що свідчать про її перспективність як ресурсозберігаючого процесу.

Виходячи з критеріальних показників, наведених у таблиці 1, не тільки ефективність традиційної технології конвертерної плавки, але й ефективність використання вугілля як додаткового теплоносія, можуть бути значно підвищені внаслідок використання конвертерних фурм з подвійним кутом нахилу сопел ( $\alpha=15^\circ$ ,  $\beta=15^\circ$ ). При цьому витрати чавуну можуть бути зменшені на 1-1,5%, а ефективність використання антрациту підвищена в 1,70-1,75 разів при забезпеченні додаткового допалювання CO та більш оперативного управління процесами шлакоформування.

Високі показники ефективності забезпечує розроблена та вперше впроваджена а ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" технологія конвертерної плавки з циклічним переміщенням фурми. При відносно невеликому у порівнянні з іншими технологіями можливому зниженні продуктивності конвертеру така технологія при деякому підвищенні долі металобрухту у шихті сприяє значному поліпшенню якісних показників процесу, перш за все за рахунок зростання виходу придатного металу.

В роботі зроблено аналіз змінення ступіню окисленості сталі на заключній стадії процесу в залежності від складу ванни та положення конвертерної фурми. Запропоновано технологічний метод забезпечення необхідної окисленості киплячої сталі шляхом її додаткової короткочасної (10-30с) продувки перед випуском. показники якого наведено у табл. 1.

На основі аналізу змінення концентрації кисню у жидкій сталі в залежності від горизонту зливка, вихідної концентрації кисню та часу відбору проби виведені рівняння для розрахунку швидкості знекислення металу у формі.

В таблиці 2 наведені результати критеріальної оцінки ряду розроблених методів позапічної обробки, розкислення та розливання сталі. Позапічна обробка сталі та її розливання під шлаком дозволяють не тільки значно підвищити якісні показники виробництва злиwkів та готового прокату, але й суттєво зменшити потребу у розкислювачах ( на 12-15% та більше). Впровадження швидкісного розливання сталі, в тому числі і під шаром шлаку, дозволяє зменшити відбраковку прокату по поверхневим дефектам, підвищити стійкість обладнання для розливання на 5-10%. Значний ефект на зростання якісних показників виробництва сталі мають якісна попередня підготовка піддонів та впровадження вдосконалених пристроїв для розливання.

Розділ 5 дисертації присвячений результатам впровадження у киснево-конвертерному цеху ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" технології з використанням ідей та розробок, викладених у дисертаційній роботі.

Таблиця 1- Результати критеріальної оцінки ефективності вдосконалених технологій конвертерної плавки в умовах ВАТ "ЄМЗ"

Технологія	Значення критеріїв. $\times 10^2$				
	Кп	Кз	Кк	К1 = Кз+Кк	К
1. З присадкою вугілля АС по ходу плавки:					
- витрати вугілля 4 кг/т	-0.13	+0.23	+0.014	+0.247	+0.24
- витрати вугілля 9 кг/т	-0.35	+0.52	+0.020	+0.535	+0.19
2. З підгрівом брухту спалюванням газового вугілля	-0.85	+0.44	+0.010	+0.446	-0.40
3. З циклічним переміщенням фурми	0	+0.52	+0.940	+1.424	+1.42
4. З заливанням чавуну у два етапи	-1.15	+1.86	-0.900	+0.964	-0.19
5. З управлінням окисленістю киплячої сталі додатковою продувкою готового металу	-0.08	-0.03	+0.270	+0.240	+0.16
6. З використанням конвертерних фурм з подвійним кутом нахилу сопел:					
- чотирьохсоплових	0	+0.82	0	+0.817	+0.82
- п'ятисоплових	0	+0.94	0	+0.939	+0.94
7. З присадкою вугілля АС та використанням конвертерних фурм з подвійним кутом нахилу сопел:					
- чотирьохсоплових	-0.24	+1.02	0	+1.019	+0.78
- п'ятисоплових	-0.24	+1.13	0	+1.131	+0.90

Примітки: 1. Технології 1-5 порівняні з традиційною технологією плавки; технології 6-7 порівняні з тими, в яких використовувалися фурми з одним кутом нахилу сопел.

2. При визначенні К коефіцієнти  $a_1, a_2, a_3$  прийняті рівними 1.

3. Наведено результати масових промислових плавок.

Таблиця 2- Результати критеріальної оцінки ефективності методів позапічної обробки, розкислення та розливання сталі в умовах ЄМЗ

Технологія	Значення критеріїв. $\times 10^2$		
	Кз	Кк	К1 = Кз+Кк
1. Обробка сталі у ковші синтетичними розкислюючими шлаками	+1.057	+0.200	+1.257
2. Продувка сталі у ковші азотом	+0.592	+0.250	+0.842
3. Економне розкислення напівспокоїної сталі	+0.035	+0.200	+0.235
4. Розливання сталі згори під шаром синтетичного шлаку	-0.055	+3.00	+2.945
5. Швидкісне розливання сталі згори зі змінням інтенсивності наповнення вилівниці	+0.260	+0.404	+0.664

Впровадження у виробництво патентів України ( № № 820, 941, 1053, 1385, 1279, 1463, 2831, 6861 ) та авторських свідоцтв ( № № 1073296, 1508578, 1693784 ) на засоби швидкісного розливання сталі згори, пристрої для сифонного розливання, методи економного розкислення напівпокоїної сталі, технології конвертерної плавки з управлінням роботою фурми при її переміщенні забезпечило річний економічний ефект у розмірі 1393,2 тис.дол. США ( в еквіваленті ). Частка вкладу робіт пошукувача складає 258,1 тис.дол.

При впровадженні технології конвертерної плавки з підвищеною часткою металобрухту у шихті і використанням вугілля як додаткового теплоносія отримано економічний ефект у розмірі ( в еквіваленті ) 402,9 тис. дол. США на рік частка робіт пошукувача складає 40,3 тис. дол. США на рік.

Впровадження АСУ ТП конвертерною плавкою забезпечило річний економічний ефект у розмірі ( в еквіваленті ) 490 тис. дол. США на рік. Частка робіт пошукувача ( математичні моделі управління процесом ) складає 15% або 73,5 тис. дол. на рік.

Сумарний середній економічний ефект ( у розрахунку на рік ) від впровадження результатів дисертаційної роботи складає ( в еквіваленті ) 371,9 тис. дол. США, або 700 тис. гривень.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено математичні моделі управління виробництвом конвертерної сталі на стадіях розрахунку шихти, продувки, доведення плавки та розкислювання сталі, які були використані при створенні АСУ ТП. Основними особливостями моделей є використання лінійних рівнянь, урахування позитивного досвіду проведення попередніх плавок та впливу неконтрольованих обурень шляхом внесення оперативних поправок.

2. Для порівнюючої оцінки результатів використання нових технологічних рішень запропоновано комплексний критерій ефективності, який включає складові, що ураховують можливе зміння продуктивності кон-

вертеру, відносно змінення витрат з окремих статей на різних стадіях виробництва та досягнені при цьому показники якості виробленої продукції. З використанням критеріального підходу було виконано аналіз ефективності технологій конвертерної плавки з підвищеною часткою металобрухту, управління ступінню окисленості сталі на різних стадіях виробництва, використання конвертерних фурм різної конструкції, позапічної обробки, розкислювання, підготовки до розливання та розливання сталі.

3. Виходячи з необхідності отримання найбільшої ефективності по критерію витрат перевагу слід віддавати технологіям конвертерної плавки з заливанням чавуну у два прийоми та попереднього підігріву брухту у конвертері, які однак, приводять до найбільш значної втрати продуктивності агрегату. Менше зниження продуктивності та більш значні показники комплексного критерію ефективності забезпечує впровадження технологій конвертерної плавки з циклічним переміщенням фурми та з присадкою вугілля АС по ходу плавки, але перша з них забезпечує більш значні показники критерію зміни якості продукції. Найбільшу ефективність може забезпечити комплексне застосування методів вдосконалення технологічного процесу, спрямованих на економію чавуну.

4. Обґрунтовано доцільність змінення положення конвертерної фурми на протязі усього періоду плавки з метою оперативного управління процесом та регулювання ступеню окисленості сталі. Оцінено можливості реалізації технології конвертерної плавки з циклічним переміщенням фурми з подвійним кутом нахилу сопел при виробництві конвертерної сталі підвищеної якості.

5. На основі аналізу впливу ступеню окисленості металу на якість злиwkів конвертерної сталі та умови вилучення кисню при кристалізації розроблено технологію виробництва киплячої сталі з управлінням окисленістю шляхом короткочасної продувки готового металу при заданому положенні фурми.

6. Реалізація комплексних методів впливу після випуску сталі з конвертеру (обробка у ковші синтетичним шлаком, використання розкислюючого та рафінуючого впливу шлаку при розливанні, швидкісне розливання сталі, ефективні методи утеплення прибуткової частини зливку та підготовки піддонів та виливниць) дозволяє отримати найбільш високі значення критерію якості продукції та комплексного критерію ефективності виробництва.

7. Впровадження ресурсозберігаючих технологій конвертерної плавки з підвищеною витратою металобрухту та управлінням положенням фурми по ходу плавки, засобів економного розкислювання сталі, засобів та пристроїв для швидкісного розливання згори та сифонного розливання, розроблених математичних моделей у АСУ ТП конвертерним виробництвом в умовах конвертерного цеху ВАТ "Єнакієвський металургійний завод" забезпечило отримання річного економічного ефекту у розмірі 2286 тис. доларів, або 4302 тис. гривень (у перерахунку). Дольовий економічний ефект робіт пошукувача складає 700 тис. гривень.

Зміст дисертації опубліковано в таких основних роботах:

#### КНИГАХ:

1. Ресурсосберегающие технологии кислородно-конвертерных процессов. Части I, II /В.А. Куличенко, М.А.Поживанов, А.Д.Зражевский, Ю.В.Оробцев, и др.- Днепропетровск: НПП Укрметаллургинформ. - 1995. - Часть I- 214с; Часть II -213с.

2. Энергосбережение и технологические резервы конвертерной плавки / С.С.Бродский, Н.П.Подберезный, Ю.В.Оробцев и др. - Днепропетровск: НПП Укрметаллургинформ. - 1995. - 125 с.

3. Математическая модель АСУ конвертерной плавки /В.С.Богушевский, Ю.В.Оробцев, Н.А. Рюмшин, Н.А.Сорокин. - К.: НПК "Киевский институт автоматики" - 1996. - 212 с.

## СТАТТЯХ:

4. Разливка низкокремнистой полуспокойной кислородно - конвертерной стали сверху //Р.В.Старов, А.А.Тольский, Ю.В.Оробцев и др. /В кн.: Разливка стали в слитки и их качество. - М.: Металлургия. - 1975. - № 4. - С. 33-39.
5. Защита поддонов от приваривания слитков при разливке сверху / Ю.И.Марков, Л.Ф.Долгополов, В.П.Григорьев, Ю.В.Оробцев и др. //Черная металлургия. Бюл. НТИ. - 1978. - № 1. - С. 32-33.
6. Улучшение качества металла продувкой в ковше азотом /В.С.Живченко, Н.Ф.Парахин, Ю.В.Оробцев и др. //Сталь. - 1981. - № 4 С.45-47.
7. Разливка спокойных низкоуглеродистых сталей сверху с увеличенной скоростью под шлаком / Н.Ф.Парахин, Ю.В.Оробцев, С.Ф.Парахина, И.И.Борнацкий //Металлургия и коксохимия. - 1981. - В.72. - С.98-101.
8. Повышение эффективности ввода легирующих экзотермических порошкообразных смесей в ковш /А.Г.Рабинович, Ю.В.Оробцев, В.П.Бут, А.А.Тольский //Черная металлургия. Бюл. НТИ. -1981.- №10.- С.48.
9. Окисленность низкоуглеродистой стали в конвертере и возможности ее регулирования путем изменения параметров дутья /В.К.Дидковский, А.С.Перегудов, Ю.В.Оробцев, П.Р.Каплун // Сталь. - 1982. - №9.- С.40-43.
10. Об оптимальных концентрациях углерода и кислорода в полуспокойной стали / В.И.Явойский, В.Н.Фролов, В.А.Кулаков, Ю.В.Оробцев, и др. //Известия вузов. Черная металлургия. - 1982. - №7. - С.12-15
11. Разработка технологии конвертерной плавки с использованием антрацита на Енакиевском металлургическом заводе /А.А.Казаков, А.С.Перегудов, Ю.В. Оробцев и др. //Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1983.- №3.- С.11-13.

12. Исследование процесса разливки полуспокойной стали под шлаком /И.И.Борнацкий, М.К.Дадонов, В.С.Живченко, Ю.В.Оробцев и др. //Известия вузов. Черная металлургия. - 1984. - №7. - С.53.-54.

13. Эффективность использования конвертерных фурм с двойным углом наклона сопел / А.А.Казаков, А.С.Перегудов, Ю.В.Оробцев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1986. - №1.- С.17-18.

14. Использование угля для нагрева лома в конвертерах /Б.М.Бойченко, В.И.Баптизманский, Л.Ф.Литвинов, Ю.В.Оробцев и др. //Известия вузов. Черная металлургия. - 1986.- №11.- С.32-36.

15. Технология конвертерной плавки с повышенным расходом металлолома /А.А.Казаков, Д.А.Дюдкин, И.П.Гриневич, Ю.В.Оробцев и др. //Черная металлургия. Бюл. НТИ. - 1989. - №3.- С.60-62.

16. Учет тепловых потерь технологических агрегатов в алгоритме АСУ ТП конвертерной плавки / Н.А.Сорокин, В.С.Богушевский, Ю.В.Оробцев и др. // Известия вузов. Черная металлургия. - 1994.- №2.- С.73-78.

17. Сорокин Н.А., Богушевский В.С., Оробцев Ю.В. Математическая модель волнообразования в сталеплавильной ванне //Сталь. - 1995. - №2. - С. 15-20.

#### АВТОРСКИХ СВИДОЦТВАХ ТА ПАТЕНТАХ:

18. А.С. №621733. Способ выплавки стали в кислородном конвертере. - М.кл. C21C 5/28.

19. А.С. №722952. Способ выплавки кипящей стали. -М.кл. C21C 5/28.

20. А.С. №1073296. Способ раскисления полуспокойной стали. М.кл. C21C 7/06.

21. А.С. №1092186. Способ выплавки стали. М.кл. C21C 5/28.

22. А.С. № 1250581. Способ выплавки стали в конвертерах. -М.кл. C21C 5/32.

23. А.С. №1447522. Способ получения огнеупорного покрытия на поддонах изложниц. - М.кл. В22С 3/00.
24. А.С. №1447543. Способ разливки стали сверху. - М.кл. В22Д 7/12.
25. А.С. №1508578. Способ выплавки стали в конвертере. - М.кл. С21С 5/28.
26. А.С. № 1693784. Способ сифонной разливки стали и устройство для его осуществления. - М.кл. В22Д 7/00.
27. Патент України № 820. Засіб розкислення напівспокійної сталі. - М.кл. С21С7/06.
28. Патент України № 941. Засіб захисту футеровки від зносу в процесі виплавки сталі в кисневому конвертері. - М. кл. С21С5/28.
29. Патент України № 1053. Засіб швидкісного розливання сталі. - М. кл. В22Д 7/12.
30. Патент України № 1385. Засіб швидкісного розливання сталі. - М.кл. В22Д 7/12.
31. Патент України № 1279. Засіб попередження викидів шлакометалевої емульсії з конвертера. - М.кл. С21С 5/28.
32. Патент України № 1463. Пристрій для сифонного розливання сталі. - М.кл. В22Д 7/00.
33. Патент України № 2831. Центровка для сифонного розливання сталі. - М.кл. В22Д 7/00.
34. Патент України № 6861. Засіб розливання сталі згори. - М.кл. В22Д 7/12.

## АННОТАЦИЯ

Оробцев Ю.В. Исследование, совершенствование и анализ эффективности ресурсосберегающих технологий выплавки и разливки конвертерной стали.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - "Металлургия черных металлов", рукопись.

Донецкий государственный технический университет, Донецк, 1997 г.

Защищаются 17 научных трудов и 17 изобретений.

Разработаны математические модели управления производством конвертерной стали и метод критериальной оценки эффективности новых тех-

нологических процессов. С использованием критериального подхода выполнен сопоставительный анализ эффективности разработанных ресурсосберегающих технологий выплавки, внепечной обработки и разливки конвертерной стали. Разработаны технологические методы управления степенью окисленности конвертерной стали путем дополнительной продувки в конвертере и изменения положения конвертерной фурмы. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 700 тыс. грн.

Ключевые слова: конвертер, фурма, выплавка, математическая модель, критерий эффективности, разливка, низкоуглеродистая сталь.

### ABSTRAKT

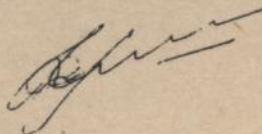
J.V. Orobtssev. Investigation, perfektion and analis of effectivity of resourcesaved techniques of smelting and casting of converter steel.

Dissertation for the candidate's degree (engineering) on the speciality 05.16.02 - "Metallurgy of ferrous metals", is the manuscript. Donetsk State Technikal University, Donetsk, 1997.

There are defended 17 scientific works and 17 patents.

There were created matematical model of operation for the converter steels manufacture and the method of criterion appreciation of technological processes effectivity. Comparison analysis of effectivity for the resources-saved techniques of smelding, subsequent treatment and casting of converter steel was carried out with application of the criterion method. There were worked out the technological methods of oxydation degree control of converter steel by means of final blow in the converter and alteration of the position of lance. Economical effectivity of the application of obtained results made up 700000 grn per year.

Key words: converter, lance, smelting, matematical model, criterion method, casting, low-carbon steel.



Подписано к печати 18 апреля 1997 г.

ОАО "ЕМЗ", ЦПиИ. Тираж 100 экз.

Украина, 343820, г. Енакиево, пр. Metallургов, 9.

AB 37.548

AB 37.548