

УДК 669.18:331.45

**Тарасов В'ячеслав Кирилович** <sup>(1)</sup>, доцент, кандидат технічних наук  
**Куріс Юрій Володимирович** <sup>(2)</sup>, провідний науковий співробітник, доктор технічних наук  
**Румянцев Володислав Ростиславович** <sup>(1)</sup>, декан, кандидат технічних наук  
**Ткаліч Інна Олександрівна** <sup>(1)</sup>, асистент

## ПРО ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ КОНВЕРТЕРНОГО ВИРОБНИЦТВА

<sup>(1)</sup> Запорізька державна інженерна академія

<sup>(2)</sup> Інститут технічної теплофізики НАНУ. м. Київ

Досліджено небезпечні чинники сучасного технологічного процесу конвертерного виробництва сталі. Виконано розрахунки рівня безпеки зазначеного процесу з урахуванням порушень параметрів безпеки, екстремальних відключень, а також впливу зовнішніх факторів. Розроблено засіб захисту обслуговуючого персоналу від опромінювання головним технологічним агрегатом.

Ключові слова: конвертерне виробництво сталі, техногенна безпека, рівень безпеки, теплове випромінювання, захисні екрани

*Вступ.* У сучасному конвертерному виробництві сталі використовують новітні технології, які забезпечують його техногенну безпеку [1,2]. Переважним варіантом здійснення такої плавки сталі є використання комбінованої продувки, коли кисень подають до конвертора зверху, а інертний газ – знизу (через днище) [3,4], одночасно тривалість плавки складає 30-35 хв. Через суттєве підвищення інтенсивності плавки та складність технологічного обладнання управління зазначеним процесом потребує більшої уваги та відповідальності обслуговуючого персоналу [5,6].

*Постановка завдання* – визначити небезпечні чинники конвертерного виробництва сталі та зони їх дії; виконати теоретичне дослідження рівня безпеки процесу, а також розробити раціональні засоби захисту обслуговуючого персоналу.

*Головна частина досліджень.* Місця виникнення шкідливих і небезпечних виробничих чинників у типовому конвертерному цеху подано на рис. 1.

До порушень технологічного процесу, що пов'язано із впливом зовнішніх чинників, слід віднести можливість недотримання технології підготовки металобрухту (підвищена вологість, наявність мастила), нерівномірність подавання кисню, а також перебої постачання енергії. Такі порушення можуть призвести до виплесків металу та шлаку, пошкодження футерівки, а також небезпечних зупинок процесу плавки [7,8].

Подавання кисню та відведення продуктів згоряння здійснюють за допомогою пристроїв, що охолоджують водою, несправність яких може призвести до екстремальних відхилень про-

цесу під час контакту рідкого металу та шлаку з водою [3,7].

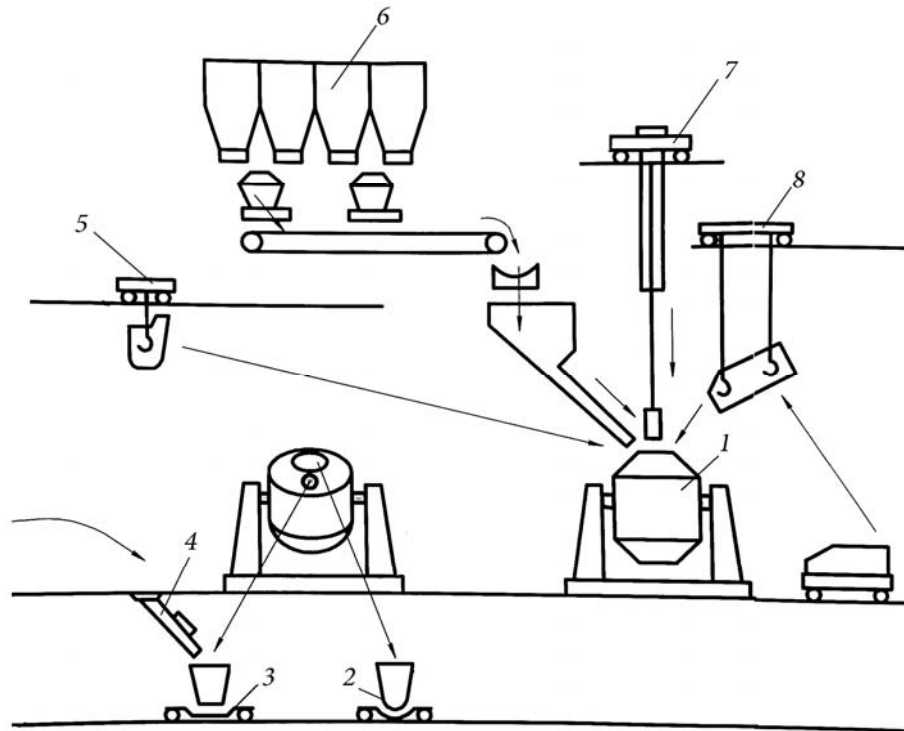
Значну небезпеку представляє наявність вологи у футерівці ковшів під час заливання сталі. Знаходячись під рідиною з температурою ~500 °С, вологі матеріали охолоджують прилеглі її шари та створюють тверду кірку, під якою здійснюються випаровування та розкладання води з утворенням гримучої суміші. Вибух у цьому разі відбувається наприкінці заповнення ковша сталлю або на початку її розливання у виливниці. Викиди розплавленого металу та шлаку із горловини конвертора під час продування киснем створюють небезпеку травмування обслуговуючого персоналу, а також призводять до втрат металу, що може досягати 3 % його маси.

Суттєвого зменшення аварійних ситуацій у конвертерах досягають використанням випарного охолодження [5], коли невелику масу гарячої води у холодильниках перетворюють на пару.

Небезпечним явищем є можливість втрати металу з конверторів і сталерозливних ковшів через порушення їх герметичності [5,10]. Так, у нижній частині конвертора на його футерівку систематично діють значні динамічні навантаження у період завантаження металобрухту. Зношення футерівки відбувається завдяки реакції її компонентів з оксидом кремнію шлаку, що має кислотні властивості. Порушення цілісності футерівки за певних умов може призвести до виливання металу з нижньої або бічної частини кожуха конвертора [4,7].

Наявність у конвертерному цеху численних кисневопроводів потребує специфічної організації робіт та значних площин для їх прокладання. Інтенсивність вантажних потоків є значно вищою, ніж в інших сталеплавильних виробництвах, що потребує більшої ретельності дотри-

мання умов безпеки та наявності кваліфікованих спеціалістів.



1 - конвертер (I, III, IV, V, VI, VII, VIII); 2 - ковш для шлаку (I, III, IV, V, VI); 3 - ковш для сталі (I, III, IV, V, VI); 4 - жолоб подавання розкислювачів (I, II, III, IV); 5 - кран для заливання чавуну (I, III, IV, V, VI, VII, VIII); 6 - бункери сипкої шихти (I, II, III); 7 - візок кисневої фурми (I, III, IV, VI); 8 - кран завантаження металобрухту (I, II, III, IV); I - шум; II - пил; III - вібрація; IV - рухомі механізми; V - газоподібні викиди; VI - теплове виділення; VII - електрична небезпека; VIII - пожежна небезпека

**Рисунок 1** – Спрощена апаратурно-технологічна схема конвертерного цеху з позначенням зон виникнення шкідливих і небезпечних виробничих чинників

До нормованих параметрів безпеки процесу плавки у конверторі слід віднести стан внутрішньої поверхні футерівки конвертора, фізико-хімічні параметри шихтових матеріалів, а також фізичні параметри кисневого струменя.

З урахуванням усіх видів порушень виконують розрахунки щодо визначення рівня безпеки конвертерного процесу [8].

Визначають термін безперервної роботи конвертора без зупинок на ремонт, тобто. частку часу  $U_6$ , коли технологічний процес відбувається без порушень норм безпеки:

$$U_6 = 1 - \frac{\sum \tau_s + \sum \tau_{s,e} + \sum \tau_{s,n}}{\tau_{заг}}, \quad (1)$$

де  $\sum \tau_s$ ,  $\sum \tau_{s,e}$ ,  $\sum \tau_{s,n}$  – відповідно загальна тривалість часу порушень параметрів безпеки, загальна тривалість часу екстремального відключення виробництва та загальна тривалість часу порушення процесу під впливом зовнішніх факторів, год.

Для аналізу рівня безпеки використовують дані, що наведено у дефектних відомостях експлуатації конверторів.

Вихідні дані для розрахунків: ємність конвертора - 130 т, тривалість плавки - 45 хв.; загальна тривалість робочого часу конвертора без зупинки на ремонт  $\tau_{заг} = 420$  год.

Порушення параметрів безпеки процесу ( $\sum \tau_{п.б}$ ) складаються з порушень під час подавання кисню (тривалість 6,4 год.) порушень з неправильного положенням кисневої фурми (тривалість 14,5 год.), а також порушень хімічного складу металу (13,5 год.), тобто їх тривалість складає  $\sum \tau_{п.б} = 34,5$  год.

Порушення, що спричиняють екстремальне відключення процесу ( $\sum \tau_{e.в}$ ), вміщують порушення, які пов'язані із різким виділенням струменів гарячих і шкідливих газів через відкриту горловину конвертора під час продування киснем (13,0 год.); порушення щодо охолодження головки кисневої фурми та значних викидів пари (8,0 год.), а також порушень із бурхливим

протіканням процесу, що супроводжуються ви-  
плесками та викидами рідкої сталі та шлаку  
(8,9 год.), тобто  $\Sigma\tau_{e,v} = 29,9$  год.

Порушення параметрів за рахунок зовніш-  
ніх факторів ( $\Sigma\tau_{z,\phi}$ ) складаються з порушень що-  
до низької якості металобрухту (13,6 год.); нері-  
вномірності подавання кисню (15,2 год.), а та-  
кож нестабільного постачання енергії (8,0 год.),  
тобто  $\Sigma\tau_{z,\phi} = 36,8$  год.

Таким чином, рівень безпеки становить  $U_6 =$   
76 %, що за міжнародними вимогами є середнім  
і прийнятним для експлуатації.

Під час використання сучасної енергозбері-  
гаючої технології процесу з герметичним укрит-  
тям горловини конвертора (з використанням фі-  
зичної теплоти газів, що відходять, як вторин-  
них енергоресурсів) суттєво підвищується рі-  
вень безпеки.

Так, автоматична установка фурми у спеціа-  
льному отворі укриття, що розташовано на вер-  
тикальній осі конвертора, дозволяє скоротити

порушення параметрів безпеки процесу з 14,5 до  
1,3 год., тобто  $\Sigma\tau_{п.6} = 21,1$  год.

Тривалість порушень, які спричинено виді-  
ленням струменів гарячих і шкідливих газів че-  
рез відкриту горловину конвертора під час про-  
дування киснем скорочуються з 13,0 до 6,5 год.,  
а тривалість порушень, пов'язаних із цілісністю  
системи охолодження головки кисневої фурми  
та значними викидами пари – з 8,0 до 2,8 год.,  
порушення через незначні вибухоподібні удари  
скоротилися з 8,9 до 2,4 год., тобто  $\Sigma\tau_{e,v} = 12,7$   
год. У такому разі рівень безпеки складає  $U_6 =$   
83 % і його можна віднести до високого.

Переробка значних обсягів рідкого металу є  
причиною підвищеної температури в цеху на  
робочих місцях і призводить до значного рівня  
теплого опромінення обслуговуючого персо-  
налу цеху.

В табл. 1 наведено допустиму тривалість  
знаходження працівника в небезпечній зоні за-  
лежно від потужності випромінювання [8].

**Таблиця 1** – Допустима тривалість перебування працівника у зоні дії випромінювання

Потужність ви- промінювання, Вт/м <sup>2</sup>	Допустима тривалість перебу- вання в небезпечній зоні, хв.	Тривалість перерви, не менше, хв.	Припустимий час праці у зоні протягом робочого дня, %
≤ 350	без обмежень	-	100
500	20	5	70
700	15	5	50
1200	10	5	50
2000	5	5	50
2100	4,5	10	30
2800	заборонена робота без спеціальних засобів індивідуального захисту		

Визначають відстань від центра випроміню-  
вання (осі конвертора або розливного ковша) до  
безпечної зони  $\ell_d$  за формулою:

$$\ell_d = 0,78 \cdot \frac{S_d^{0,5}}{Q_H} \cdot \left[ \left( \frac{T_d}{100} \right)^4 - 110 \right], \quad (2)$$

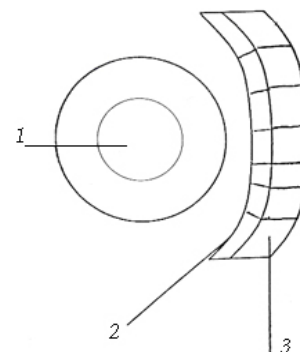
де  $S_d$ ,  $T_d$  – площа поверхні джерела, що випро-  
мінює, та його температура, м<sup>2</sup> ( $S_d = 1,0$  м<sup>2</sup>), К,  
відповідно;  $Q_H$  – оптимальна норма інтенсивно-  
сті тепловиділення.  $Q_H = 140$  Вт/м<sup>2</sup>. Отримують  
 $\ell_d = 2,5$  м.

Встановлено, що радіус небезпечної зони  
перевищує припустиме значення 2,0 м, тобто  
необхідно використовувати захисні екрани.

Згідно з результатами розрахунків, для за-  
хисту персоналу на відстані 1,0 м від джерела  
теплого випромінювання, достатньо встано-  
вити екрани з алюмінійної фольги товщиною  $\delta =$   
0,02 м.

Оскільки температура джерела є досить ви-  
сокою (1023 К), захисний екран слід футерувати

теплоізоляційною цеглою (рис. 2).



1 - джерело випромінювання; 2 - відбивний матеріал  
(алюмінійна фольга); 3 - теплопоглинальний матеріал  
(термостійка цегла)

**Рисунок 2** – Схема розташування стаціонарних теп-  
лозахисних екранів

Термічний опір, який потрібно отримати за  
допомогою шару зазначеної цегли, обчислюють як

$$R = \frac{T_E - T_{Ц}}{q_0}, \quad (5)$$

де  $T_{Ц}$  – температура термостійкої цегли, К;  $q_0$  – теплові втрати, що затримує захисний екран, Вт; їх значення обчислюють за відомою методикою [11].

Тоді необхідну товщину теплоізоляційної цегли визначають за формулою

$$\delta = R \cdot \lambda, \quad (6)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність теплоізоляційної цегли, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Обчислюють кількість екранів за наступних вихідних даних:  $T_D = 1023$  К,  $T_E = 523$  К, температура навколишнього повітря  $T_B = 300$  К. Ступінь екранізації становить  $\mu = T_D / T_E = 1,4$ .

Кількість екранів визначають як

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_B}{T_D}\right)^4}{\frac{1}{\mu^4} - \left(\frac{T_B}{T_D}\right)^4} \cdot \frac{E_E}{E_D} - 1, \quad (3)$$

де  $T_D$  – температура джерела випромінювання перед екраном К;  $E_E, E_D$  – наведена ступінь чор-

ноти джерела та екрану й екрану та джерела повітря відповідно.

Одержують  $n = 1,0$ .

Площу небезпечної зони  $S_{нз}$  обчислюють як

$$S_{нз} = S_D + S_B - S_E, \quad (4)$$

де  $S_D$  – площа поверхні джерела, що випромінює, м<sup>2</sup>;  $S_B$  – площа впливу джерела, м<sup>2</sup>;  $S_B = 9,81$  м<sup>2</sup>;  $S_E$  – площа зони, яку захищають, м<sup>2</sup>;  $S_E = 3,53$  м<sup>2</sup>.

Тоді  $S_{нз} = 7,28$  м<sup>2</sup>.

**Висновки.** Розроблено спрощену апаратурно-технологічну схему конвертерного процесу з визначенням зон дії небезпечних чинників. Розкрито причини виникнення порушень цілісності футерівки конвертера та ковшів, а також виплесків рідкого металу й шлаку. Виконано розрахунки рівня безпеки процесу з догоранням оксиду вуглецю та за наявності укриття із можливістю використання фізичної енергії відхідних газів. Здійснено оцінку небезпеки за дії теплового випромінювання конвертера та розроблено раціональний засіб захисту обслуговуючого персоналу.

### Бібліографічний перелік

1. **Карасев, В. П.** Теория и технология производства стали [Текст] / В. П. Карасев, С. В. Рябошук ; учебное пособие. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2009. – С. 59.
2. **Бойченко, Б. М.** Конверторное производство стали : теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология [Текст] / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин; учебник. – Днепропетровск : Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.
3. **Бринза, В. Н.** Охрана труда в черной металлургии [Текст] / В. Н. Бринза, М. М. Зиньковский. – М. : Металлургия, 1985. – 192 с.
4. **Воденников, С. А.** Конструкції агрегатів чорної металургії [Текст] / С. А. Воденников, В. К. Тарасов, О. С. Воденникова; навч. посібник. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2012. – 192 с.
5. **Сушенко, А. В.** Ресурсосбережение и экология конвертерного производства стали [Текст] / А. В. Сушенко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – Маріуполь: ПДТУ, 2004. – Вип. 14. – С. 341-346.
6. **Бигеев, В. А.** Ковертерное производство стали в начале второго десятилетия XXI века [Текст] / В. А. Бигеев, Ю. А. Колесников // Теория и технология металлургического производства. – Магнитогорск : МГТУ, 2012. – С. 1-13.
7. **Тубольцев, Л. Г.** К вопросу повышения промышленной безопасности конвертеров и экологической безопасности процессов выплавки стали [Текст] / Л. Г. Тубольцев, В. П. Корченко, В. Ф. Поляков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Дніпропетровськ : ІЧМ НАНУ, 2011. – Вип. 24. – С. 258-272.
8. **Тарасов, В. К.** Безпека технологічних процесів і обладнання [Текст] / В. К. Тарасов; навч. посібник. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2005. – 164 с.
9. **Тахаутдинов, Р. С.** Повышение стойкости углеродсодержащих огнеупоров для конвертерного производства [Текст] / Р. С. Тахаутдинов, А. Д. Носов, В. Г. Овсянников и др. // Огнеупоры и техническая керамика, – 2002. – № 1. – С. 4-6.
10. **Сушенко, А. В.** Совершенствование режимов работы металлургических агрегатов с факельным отоплением [Текст] / А. В. Сушенко, А. И. Травинчев, А. В. Воробьев и др. // Сталь. – 2002. – № 5. – С. 21-24.
11. **Лисиенко, В. Г.** Теплофизика металлургических процессов [Текст] / В. Г. Лисиенко, В. И. Лобанов, Б. И. Китаев. – М. : Металлургия, 1982. – 239 с.

**Тарасов Вячеслав Кириллович**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны труда, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: tvk1937@ukr.net

**Курис Юрий Владимирович**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела теплофизических основ энергосберегающих технологий, Институт технической теплофизики НАНУ (Украина, Киев). Email: analytic@rangler.ru

**Румянцев Владислав Ростиславович**, кандидат технических наук, декан металлургического факультета, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: ruvlad1164@gmail.com

**Ткалич Инна Александровна**, ассистент кафедры прикладной экологии и охраны труда, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: marksan99@ukr.net

### **O ПОВЫШЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Исследованы опасные факторы современного технологического процесса конвертерного производства стали. Выполнены расчеты уровня безопасности процессов с учетом непроизводительных остановок, повреждений и аварий. Разработан способ защиты персонала от действия излучения, который позволит повысить техногенную безопасность основного агрегата и производства в целом.

Ключевые слова: конвертерное производство, экстремальные отклонения процесса, уровень безопасности, тепловое излучение, защитные экраны

**Tarasov Vyacheslav**, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of Applied Ecology and Protection of Labor, Zaporozhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). Email: tvk1937@ukr.net

**Kuris Uryiy**, doctor of technical sciences, Chief Staff Scientist of Laboratory of Thermalphysics Bases of Energie-saving Technologies, Institute of Technical Thermal Physics NASU (Ukraine, Kyiv). E-mail: analytic@rangler.ru

**Rumyantsev Vladislav**, candidate of technical sciences, dean of Metallurgical Department, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: ruvlad1164@gmail.com

**Tkalich Inna**, Assistant of Department of Applied Ecology and Protection of Labor, Zaporozhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). Email: marksan99@ukr.net

### **ABOUT INCREASE OF TECHNOGENIC SAFETY FOR CONVERTER PRODUCTION**

Dangerous factors of modern technological process of converter steelmaking were investigated. The calculations of strength of processes securities were done taking into account unproductive stops, damages, accidents. Means of defense of personnel from influence the heat of radiation was worked out, that will allow to promote technogenic safety of basic aggregate and production on the whole.

Keywords: converter production, extreme rejections of process, strength security, caloradiance, protective screens

Стаття надійшла до редакції 18.12.2018 р.  
Рецензент, проф. Г.Б. Кожемякін

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