

## Список литературы

1. Пути интенсификации процесса сушки окатышей на конвейерных машинах / **Е. В. Некрасова, А. П. Буткарев, Г. М. Майзель, С. А. Мариев**: В кн.: Интенсификация процессов окускования железорудного сырья. — Свердловск: Уралмеханобр. 1985. С. 58–63.
2. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья / **В. В. Ожогин, А. А. Томаш, И. А. Ковалевский, О. В. Жерлицина, В. В. Исаева** // [Металлург. процессы и оборудование](#). - 2005. - № 2. - С. 54-58.
3. **Носков Н.А.** Роль брикетирования в проблеме утилизации металлургических отходов // Теория и практика производства чугуна: Сб. трудов международн. конф. доменщиков. -Кривой Рог: КГТМК "Криворожсталь". 2004. -С. 591-594.
4. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода / **Б. Н. Маймур, А. Ю. Худяков, В. И. Петренко, С. В. Ващенко, К. В. Баюл** // Бюллетень «Черная металлургия». 2016. №1.С. 74-81.
5. Производство и применение в доменной печи брикетов нового поколения / **Й. К. Далмиа, И. Ф. Курунов, Р. Б. Стил, А. М. Бажанов** // Металлург. 2012. № 3. С. 39–41.
6. **Равич Б. М.** Брикетирование руд. — М.: Недра. 1982. — 183 с.
7. **Равич Б.М.** Брикетирование в цветной и черной металлургии. — М.: «Металлургия», 1975. — 356 с.
8. **Ожогин В.В.** Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: монография. — Мариуполь: ПГТУ, 2010. — 442 с.
9. **Кожевников И.Ю., Равич Б.М.** Окускование и основы металлургии. — М.: Металлургия, 1991. — 296 с.
10. История брикетирования и предлагаемый способ. Режим доступа: [http://briket.ru/briket\\_his.shtml](http://briket.ru/briket_his.shtml)
11. **Федосеев С.Н.** Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 Ноября 2014. — Томск: ТПУ, 2014 — С. 162–167.
12. [http://briket.ru/briket\\_exp.html](http://briket.ru/briket_exp.html)

Рукопись поступила в редакцию 03.04.2019

УДК 621.771

В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц., А.А. ХІНОЦЬКА, ст. викладач  
Криворізький національний університет

## ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЗМІНУ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ПОЗДОВЖНЬОМУ ПРОКАТУВАННІ

**Мета:** визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при поздовжньому прокатуванні.

**Методи:** базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, на використанні теоретичного аналізу утворення напруженого стану металу, що виникає в осередку деформації при прокатуванні експериментальної перевірки прийнятих гіпотез та отриманих результатів.

**Наукова новизна** полягає у тому, що отримано закономірності впливу ступеню обтиснення при прокатуванні на напруження та швидкість обробки, визначено залежність границі текучості металу від швидкості деформації.

**Практична значимість** полягає у тому, що отримані закономірності та залежності дозволяють доповнити та підвищити точність розрахунків енергосилових параметрів при поздовжньому прокатуванні, що забезпечує можливість більш надійно визначати витрати енергії при прокатуванні та обирати раціональні режими обтиснення.

**Результати:** в результаті аналізу напружено-деформованого стану металу, що утворюється у осередку деформації при поздовжньому прокатуванні виявлено, що домінуючою є об'ємна схема з трьома стискаючими напруженнями, які викликають деформацію, внаслідок чого утворюється деформований стан, що має об'ємну схему, яка характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження. На величину напруження впливає швидкість деформації. Визначено ступінь та швидкість деформації, напруження, що виникають при поздовжньому прокатуванні в залежності від ступеню деформації. Досліджено зміну тензора напружень в залежності від швидкості деформації. Виявлено, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеню деформації. Встановлено, що напруження при гарячому прокатуванні сталі звичайної якості Ст 3 змінюється в межах від 55 МПа до 88 МПа в залежності від швидкості деформації за лінійною залежністю. Отримано закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при обробці тиском

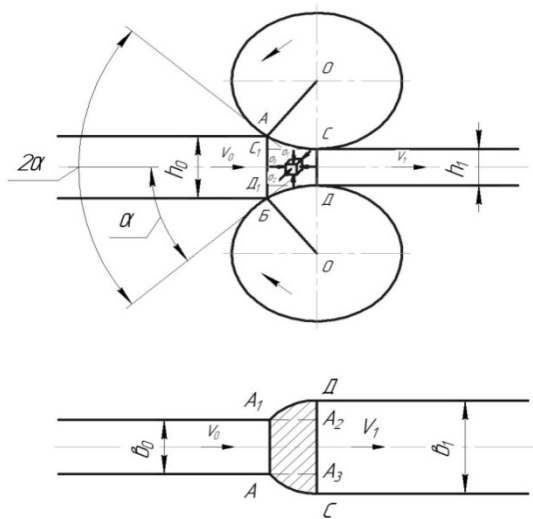
**Ключові слова:** осередок деформації, поздовжнє прокатування, напруження, швидкість деформації, обтиснення, схема деформованого стану

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-42-46

© Чубенко В.А., Хіноцька А.А., 2019

**Проблема та її зв'язок з науковими практичними завданнями.** При великих пластичних деформаціях, які характерні обробці металів тиском, істотно змінюються властивості тіла, що обробляється, змінюється структура, фазовий склад та відбуваються хімічні перетворення в металах. Під час гарячого прокатування відбуваються постійні зміни напруження та швидкості деформації. Для правильного розподілу обтиснень в клітках прокатного стану і визначення витрат енергії потрібно визначити розподіл напружень та деформацій в об'ємі деформуємого тіла, тому дослідження впливу швидкості деформації на напруження при повздовжньому прокатуванні є задача актуальна.

**Аналіз досліджень та публікацій.** При повздовжньому прокатуванні відбувається обтиснення металу, що приводить до зменшення висоти смуги, що обробляється, збільшення її ширини і довжини. Утворюється осередок деформації (рис. 1), де відбуваються складні процеси перетворень [1, 2], діють нерівномірні напруження, що впливає на якість виробу [3, 4]. Багато уваги приділено зміні об'єму металу в осередку деформації, швидкості переміщення металу та валків [5].



**Рис. 1.** Схема осередку деформації при повздовжньому прокатуванні:  $h_0$  і  $h_1$  – висота смуги відповідно до входу в осередок деформації та на виході з нього;  $b_0$  і  $b_1$  – ширина смуги до входу в осередок деформації та на виході з нього;  $\alpha$  – кут захоплення;  $v_0$  і  $v_1$  – швидкість смуги відповідно до входу в осередок деформації та на виході з нього;  $R$  – радіус прокатних валків

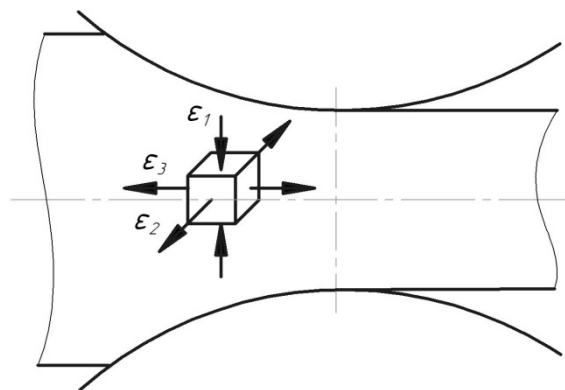
При вивченні та аналізі схеми напруженого стану металу в осередку деформації необхідно враховувати напрям дії зовнішніх сил [6].

У поздовжньому напрямку основні горизонтальні складові утворюються силами тертя, причому в зоні відставання вони спрямовані за рухом прокатування, а у зоні випередження – проти.

Таким чином, при будь-якому повздовжньому переміщенні часток металу в осередку деформації вони витримують підпиряючу дію з боку сил тертя.

Це свідчить, що в повздовжньому напрямку діють стискаючі напруження  $\sigma_3$ . При поперечному переміщенні часток металу в осередку деформації вони також зустрічають опір сил тертя, тому і в поперечному напрямку також діють стискаючі напруження  $\sigma_2$ . І у вертикальному напрямку сили тиску валків на метал утворюють стискаючі напруження  $\sigma_1$ . Це все свідчить про те, що напружений стан смуги при прокатуванні характеризується об'ємною схемою з трьома стискаючими напруженнями. Але така схема існує не у всіх точках осередку деформації, а є домінуючою [7].

Під дією вказаних напружень виникає деформація, тобто утворюється деформований стан прокатуємого штаби (рис. 2 [6 рис 6.4]). Схема деформованого стану при повздовжньому прокатуванні є об'ємною і характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження.



**Рис. 2.** Схема деформованого стану при прокатуванні [6]

Відповідно до закону найменшого опору, метал тече у тому напрямку, де він зустрічає найменший опір своєму переміщенню. При прокатуванні таким напрямком є повздовжній напрям, тобто зміщений при обтисненні метал тече в основному у витяжку [8]. Звідси  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . Враховуючи схему напруженого стану,  $\sigma_3$  – максимальне напруження за абсолютною величиною, тобто  $\sigma_3 = \sigma_{max}$ .

Враховуючи те, що не достатньо досліджено закономірності впливу швидкості деформації на зміну величини напруження при прокатуванні, потрібно виконати дослідження зміни тензора напружень в залежності від швидкісних умов

прокатування, що дозволить підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при прокатуванні.

**Постановка задачі:** визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при повздовжньому прокатуванні. Для цього потрібно виконати аналіз напруженого стану в осередку деформації при повздовжньому прокатуванні та визначити зміну напружень в осередку деформації при гарячому прокатуванні в залежності від швидкості деформації.

**Викладення матеріалу та результати.** Використано методи дослідження, які базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, застосовано теоретичний аналіз і виконано експериментальну перевірку прийнятих гіпотез і отриманих результатів. Основу теоретичних досліджень складають головні положення механіки суцільних середовищ, теорії плинності, методи розв'язання динамічної задачі пружно-пластичної деформації.

Напруження, що діють у осередку деформації можна представити у вигляді тензора напружень [6, 8-12] (табл. 1). Ці напруження викликають деформацію, тензор якої можна представити у вигляді, який показано в табл. 1. Деформація протікає з визначеною швидкістю, тензор якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники напруженого стану при прокатуванні в осередку деформації			
Показники			
	Напруження	Деформація	Швидкість деформації
Позначення	$\sigma$	$\varepsilon$	$\xi$
Тензор	$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \xi_{13} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \xi_{23} \\ \xi_{31} & \xi_{32} & \xi_{33} \end{bmatrix}$

В дослідженнях використовувалася сталь звичайної якості марки Ст 3.

Опір деформації визначався за даними В.І. Зюзіна [7].

Швидкість деформації визначали за формулою

$$\xi = \frac{v_g \sqrt{\Delta h R}}{h_{cp}}$$

де  $v_g$  – швидкість валків,  $\Delta h$  – обтиснення, що визначається за формулою:

$\Delta h = h_0 - h_1$ ;  $R$  – радіус валків,  $h_{cp}$  – середня висота смуги;  $h_0$  – початкова висота смуги;  $h_1$  – кінцева висота смуги.

Результати досліджень та розрахунків занесені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати дослідження параметрів гарячого прокатування

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\alpha$ , °	$R$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , %	$t$ , °С	$v_0$ , м/с	$v_1$ , м/с	$\xi$ , с <sup>-1</sup>	$\sigma_T$ , МПа
100	92	13	200	8	8	1200	10	10,35	13,6	88
200	180	20	300	20	10	1200	8	8,1	3,3	61
300	255	25	400	45	15	1200	5	5,12	2,4	59
500	400	30	500	100	20	1200	3	3,2	1,22	55

На підставі отриманих даних будуюмо діаграму (рис. 3), яка показує залежність швидкості деформації  $\xi$  від величини відносного обтиснення  $\varepsilon$ .

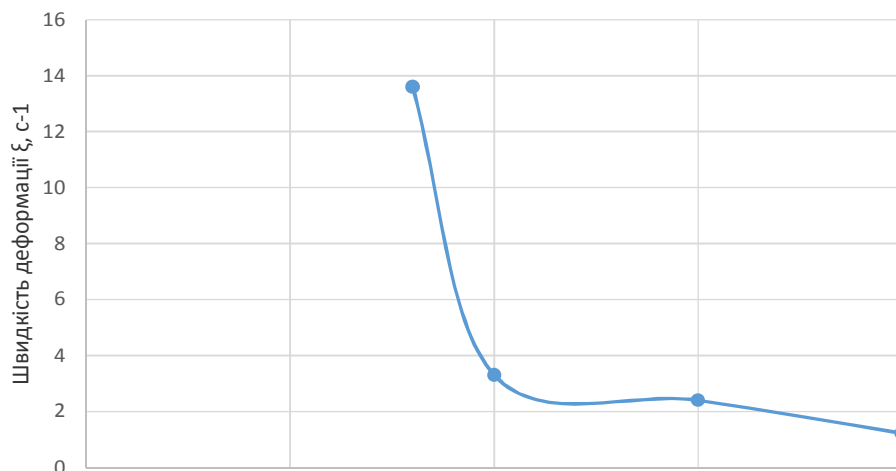


Рис. 3. Вплив величини обтиснення на швидкість деформації при гарячому прокатуванні

З рисунка 3 видно, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеня обтиснення, що пояснюється тим, що при збільшенні величини обтиснення потрібно зменшувати швидкість прокатування. З особливою інтенсивністю це зменшення відбувається при незначних ступенях деформації (до 10%).

Таблиця 3  
Напружений стан оброблюваного матеріалу при прокатуванні

Швидкість деформації, $\text{с}^{-1}$	Величина напруження, МПа	Тензор напруження
13,6	88	$\begin{bmatrix} -4 & -3 & -3 \\ -3 & -4,4 & -3 \\ -3 & -3 & -5 \end{bmatrix}$
3,3	61	$\begin{bmatrix} -3,8 & -2 & -2 \\ -2 & -3,9 & -2 \\ -2 & -2 & -4,1 \end{bmatrix}$
2,4	59	$\begin{bmatrix} -3,8 & -2 & -2 \\ -2 & -3,9 & -2 \\ -2 & -2 & -4 \end{bmatrix}$
1,22	55	$\begin{bmatrix} -3,6 & -2 & -2 \\ -2 & -3,8 & -2 \\ -2 & -2 & -4 \end{bmatrix}$

Швидкість деформації впливає на величину зміни величини напруження. В подальшому визначимо тензор напруження (табл. 3), який складається зі стискаючих складових, тобто має від'ємні компоненти.

В табл. 3 показано розподіл напружень в залежності від швидкості деформації, де видно, що при зменшенні величини швидкості деформації зменшується величина напруження при прокатуванні.

Закономірності впливу швидкості деформації на зміну величини напружень показано на рис. 4.

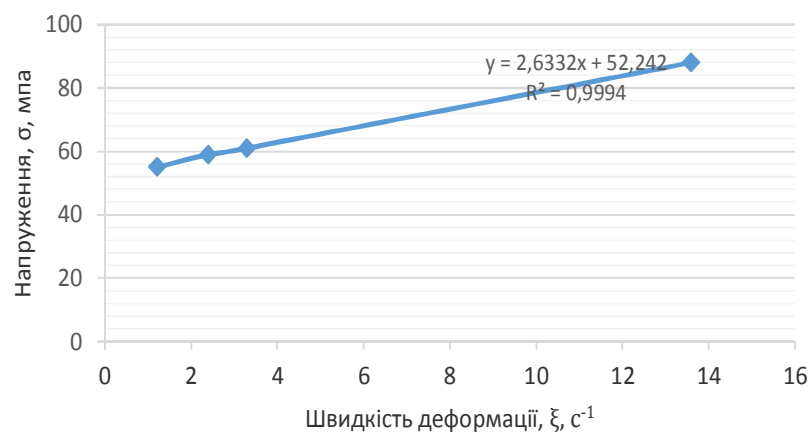


Рис. 4. Закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні

З рисунку 4 видно, що при збільшенні швидкості деформації збільшується напруження при гарячому прокатуванні за лінійної залежності, яка описується рівнянням  $y = 2,6332x + 52,242$ . При переході до натуральних змінних залежність прийме вигляд:  $\sigma = 2,6332\xi + 52,243$ . Така залежність доповнює енергосилові розрахунки при обробці металів тиском.

**Висновок.** Встановлено закономірності впливу швидкості деформації на зміну напружень при гарячому прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та витрат енергії на прокатування.

#### Список літератури

1. Дослідження об'ємно структурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні / **В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька**, Кривий Ріг: Видавництво ФО-П Чернявський Д.О., 2018. – 171 с.
2. Бережний М.М. Набуття сталлю реологічних властивостей в осередку деформації при прокатуванні / **Бережний М.М., Чубенко В.А., Хіноцька А.А.** – Кривий Ріг: Діонат, 2014. – 181 с.
3. **Серета Б.П.** Обробка металів тиском: Навчальний посібник. Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2009. – 344 с.
4. Теорія процесів прокатного, трубного ковальсько-штампувального та волочильного виробництва: Навчальний посібник. / **Максименко О.П., Лясота С.М., Романюк Р.Я.** Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. – 208 с.
5. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров: Монография/ **И.К.Огинский, В.Н.Данченко, А.А.Самсоненко, В.В.Бояркин.** – Днепропетровск: Пороги. 2011. – 355 с.
6. **Василев В.Д., Мінаєв А.О.** Теорія позадвужньої прокатки. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
7. **Грудев А.А.** Теорія прокатки: Учебник для вузов/ М.: Металлургия, 1988. – 240 с.

8. Данченко В.М., Грінкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
9. Теоретичні основи обробки металів тиском: Монографія у 2 т./ Б. М. Ілюкович, А. П. Огурцов, М.Є. Нехаєв, С.В.Єршов. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – Т1. – 518 с.
10. Коломогоров В.Л. Механіка обробки металів тиском. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
11. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
12. Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. и др. Теория пластических деформаций металлов / Под. ред. Унксова Е.П., Овчинникова А.Г. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК658.512.011.56.01.77

С.О. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф., Є.К. БАБЕЦЬ, канд. техн. наук, доц.,  
Є.В. ВАСИЛЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

## ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ НА ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

**Мета.** Одним із напрямків подальшого розвитку вітчизняного підземного залізорудного гірничодобувного виробництва є автоматизація управління виробничим процесом на шахтах (АСУВП). Впровадження АСУВП стикається із серйозною проблемою, яка полягає у відсутності методичного, програмного, організаційного і технічного забезпечення розробки повнофункціональних таких систем. З метою розробки теоретичних основ створення повнофункціональних таких систем авторами були виконані дослідження проблематики і складностей їх розробки і впровадження та висвітлення вузлових аспектів їх структури і функціонування.

**Методи.** Для досягнення поставленої мети було застосовано методи пошуку, огляду і аналітичної обробки бібліографічної інформації, методи мозкового штурму, методи сітьового моделювання, методи структурного аналізу.

**Наукова новизна.** Новими науковими результатами виконаних досліджень і розробок авторів є визначення і розкриття суті проблем і складностей, які виникають в процесі розробки і впровадження АСУВП підземних залізорудних гірничодобувних підприємств; розробка структури управління цим процесом згідно до принципів Демінга-Шухарта управління системами, що розвиваються; розробка моделі виробничого процесу на залізорудних шахтах і моделі структури системи управління цим процесом з визначенням інформаційних і управлінських зв'язків.

**Практична значимість.** Розробки, виконані авторами мають значення для практики розробки методичної бази, математичних методів, програмного забезпечення та створення технічної бази АСУВП на вітчизняних підземних залізорудних гірничодобувних підприємствах. Результати роботи мають значення для правильного організації управління всіма процесами, які виконуються на підземному залізорудному підприємстві. До основних з цих процесів відносяться: розкриття рудних покладів, технологічні процеси очисного виймання руди, управління геомеханічним станом гірничого масиву, транспорт видобутої руди, підйом руди на поверхню, переробка руди у товарний продукт. Особливо важливим фактором є забезпечення безпеки здійснення виробничих процесів, які виконуються у підземних умовах. Це у першу чергу відноситься до безпеки геомеханічних умов, які формуються як природними факторами, так і факторами, які залежать від методів виконання технологічних процесів.

**Результати.** Розроблені основи створення повнофункціональних АСУВП для залізорудних шахт.

**Ключові слова:** автоматизація, управління, виробничий процес, залізорудні гірничодобувні підприємства.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-46-52

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Одним з найбільш важливих напрямків подальшого розвитку залізорудної гірничодобувної промисловості України є автоматизація управління виробничим процесом на підприємствах цієї промисловості.

Вказаний напрям особливо важливий для гірничодобувних підприємств, які здійснюють розробку родовищ залізних руд підземним способом. На даний час ці підприємства виробляють до 15-20% товарної залізорудної продукції України, при цьому, виробничий процес на них здійснюється у вкрай складних підземних умовах, і характеризуються підвищеною технологічною складністю, високою динамічністю, небезпечністю. Крім того, функціонування цих підприємств здійснюється в умовах жорсткої конкуренції на ринках залізорудної продукції за її якісними, економічними характеристиками.

Автоматизація управління виробничим процесом у таких умовах є одним з найважливіших засобів забезпечення конкурентоспроможності гірничодобувних підприємств, стабільності їх виробничої діяльності та економічної безпеки. Однак, на даний час на жодному вітчизняному підземному залізорудному підприємстві не застосовуються повнофункціональні автоматизовані