

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЫРЬЯ
НА РАСХОД КОКСА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ**

Выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси. Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м^3 с одной стороны и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой стороны. Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

Важным условием эффективного и устойчивого осуществления доменной плавки является стабильность компонентного и химического состава доменной шихты и технологических факторов. Невыполнение этого условия вызывает непрерывный переход режима плавки от одного состояния к другому. В исследуемом периоде, в котором произведено более 15,7 млн т чугуна, в состав шихты доменной печи объемом 5000 м^3 входило, как правило, 6-8 и более различных компонентов, относящихся к железосодержащим, топливным и флюсующим материалам. При этом 2-3 компонента шихты по своему возникновению являлись вторичным сырьем. В числе компонентов доменной шихты перерабатывались в качестве вторичного сырья такие промышленные отходы, как шлак обогащенный, скрап, шлак производства *SiMn*, рядовой шлак, отходы производства электрокорунда.

При загрузке в печь доменной шихты ее компоненты, как правило, не смешиваются, а укладываются в основном отдельными слоями. Кроме того, загрузка компонентов шихты осуществлялась циклически. Каждый цикл состоял из нескольких порций материалов, объем которых соответствовал объемам шихтовых бункеров загрузочного устройства бесконусного типа фирмы «Paul Wurth» (Люксембург). В результате этого разнородные компоненты доменной шихты имеют физический контакт между собой в основном на границах слоев. Поэтому в теории и практике доменной плавки для характеристики доменной шихты в качестве фактора применяют удельный расход каждого компонента на 1 т чугуна. В связи с тем, что численное значение удельного расхода каждого компонента доменной шихты измеряют, контролируют и регулируют независимо друг от друга, то эти факторы являются независимыми. Однако эта независимость сохраняется в доменной печи до температур начала развития процессов первичного шлакообразования. В зависимости от характера распределения газового потока по радиусу и окружности доменной печи изменяются очертания границ, формы и объемов зоны когезии. При этом физико-химические процессы шлакообразования и перехода сырьевых компонентов доменной шихты из твердого в вязкопластичное и жидкоподвижное состояние осуществляется одновременно на значительной высоте столба материалов, сосредоточенных в отдельных слоях. Под действием силы гравитации появляющиеся жидкие фазы устремляются вниз печи между кусками слоев твердых материалов, представленных в основном коксом, углем, известняком, осуществляя, таким образом, опережение ранее загруженных порций шихты и появление смеси разнородных материалов в объеме доменной печи. При образовании смеси разнородных материалов возникают новые свойства и, прежде всего, появляется условие нормировки, которое присуще смеси. Это условие отражает наличие взаимозависимости между компонентами смеси, состоящей в том, что при изменении массовой, мольной или объемной доли любого компонента смеси изменяются соответствующие доли всех остальных компонентов в ней

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1, \quad (1)$$

где C_i - доля любого из компонентов смеси, доли ед.; n - число компонентов в смеси.

В связи с этим отображение влияния удельных расходов каждого компонента доменной шихты как независимых факторов на различные параметры доменной плавки в виде полиномиальных стохастических математических моделей не позволяет выявить в чистом виде силу воздействия каждого из смесевых факторов, на которые налагается условие нормировки (1), вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси [1].

В теории математического планирования эксперимента разработаны методы построения оптимальных планов активных исследований многокомпонентных систем, содержащих смесевые факторы с ограниченными интервалами варьирования в многомерных симплексах с предварительной трансформацией факторного пространства [1]. При наличии в исследуемой системе независимых и смесевых факторов следует строить планы эксперимента по методу прямых произведений планов для независимых факторов с планами для смесевых факторов [1]. Полиномиальные стохастические математические модели, получаемые на основе реализации указанных планов, позволяют исключить погрешности, вызванные условием нормировки (1).

На основе вышесказанного в данном исследовании доменная шихта рассматривается в качестве смеси, в которой количество каждого загружаемого в печь шихтового компонента выражено в массовых долях и наложением условия нормировки (1). Независимые факторы и параметры выражены в естественных для них физических размерностях.

В данной работе в качестве параметра рассматриваются наиболее важные технико-экономические показатели доменной плавки удельный расход сухого скипового кокса и удельная производительность. В результате обработки итоговых фактических показателей доменной печи объемом 5000 м³ по данным производственных отчетов методами многофакторного регрессионного анализа выявлено качественное влияние и количественная связь между удельным расходом сухого скипового кокса и факторами производственного процесса выплавки переплавленного чугуна, выраженная стохастической математической моделью в виде степенной функции (2)

$$K_c = \text{Exp}(6,641)(1+A_1)^{-0,07473}(1+A_2)^{0,04691}(1+A_3)^{0,0925}(1+A_4)^{-0,00156}(1+A_5)^{-0,02125} \times \\ (1+A_6)^{-0,13399}(1+A_7)^{0,03568}(1+A_8)^{0,00007}(1+A_9)^{-0,0041}(1+A_{10})^{0,01847}(1+A_{11})^{0,84552} \times \\ (1+A_{12})^{-0,0224}(1+A_{13})^{-0,35149}(1+A_{14})^{-0,07382}(1+A_{15})^{-0,0655}, \text{ кг/т} \quad (2)$$

где K_c - удельный расход кокса, кг/т; A_1 - шлак обогащенный (0...8,37%); A_2 - агломерат (61,96...85,1%); A_3 - железная руда (0...7,51%); A_4 - окатыши (5,93...32,26%); A_5 - скрап (0...4,77%); A_6 - шлак производства *SiMn* (0...1,13%); A_7 - известняк обыкновенный (0...3,49%); A_8 - доломитизированный известняк (0...2,66%); A_9 - рядовой шлак (0...2,88%); A_{10} - отход производства электрокорунда (0...0,16%); A_{11} - плавиковый шпат (0...0,06%); A_{12} - антрацит (0...3,9%); A_{13} - металлизированные брикеты (0...0,13%); A_{14} - удельный расход природного газа, (27...136 м³/т); A_{15} - удельный расход кислорода, (39...134 м³/т).

Проверка адекватности модели осуществлялась по критериям Стьюдента (St_p) и Фишера (F_p). Гипотезы об адекватности принимались на основании того, что расчетные значения указанных критериев меньше их критических табличных значений (St_T , F_T). Для модели (2) $St_p = 0,187$ (число степеней свободы $f=129$), $F_p = 1,11$ (числа степеней свободы $f_1=72$, $f_2=57$). Критические табличные значения этих критериев для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и тех же чисел степеней свободы составляют $St_T = 1,98$, $F_T = 1,41$. Так как $St_p < St_T$ и $F_p < F_T$ гипотеза об адекватности модели (1) не отвергается. Таким образом, адекватность модели (2) свидетельствует, что вероятность появления существенных различий между расчетными и опытными значениями параметра K_c не превышает выбранного уровня значимости $\alpha = 0,05$, то есть 5%. Абсолютная ошибка расчетных значений параметра K_c составляет 3,651 кг/т.

Удельная производительность доменной печи объемом 5000 м³ ($\Pi_{уд}$, т/(м³·сут)) обобщена стохастической математической моделью в виде степенной функции (3) следующего вида

$$\Pi_{уд} = \text{Exp}(-0,92832)(1+D_1)^{0,02933}(1+D_2)^{0,68892}(1+D_3)^{-0,02124}(1+D_4)^{0,14067}(1+D_5)^{0,01371} \times \\ (1+D_6)^{0,08809}(1+D_7)^{0,14096}(1+D_8)^{0,03845}(1+D_9)^{-0,02603}(1+D_{10})^{-0,32999}(1+D_{11})^{-3,03217} \times \\ (1+D_{12})^{-0,01478}(1+D_{13})^{-0,84341}(1+D_{14})^{-0,91872}(1+D_{15})^{-0,1227}(1+D_{16})^{0,24725}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}) \quad (3)$$

где D_1 - шлак обогащенный (0...6,7%); D_2 - агломерат (48,6...68,4%); D_3 - железная руда (0...5,6%); D_4 - окатыши (4,7...25,3%); D_5 - скрап (0...3,8%); D_6 - шлак производства $SiMn$, (0...0,9%); D_7 - известняк обыкновенный (0...2,8%); D_8 - известняк доломитизированный (0...2,1%); D_9 - шлак рядовой (0...2,3%); D_{10} - отход производства электрокорунда (0...0,13%); D_{11} - плавиковый шпат, (0...0,02%); D_{12} - антрацит (0...3,13%); D_{13} - сухой скиповый кокс, (17,9...25,7%); D_{14} - металлизированные брикеты (0...0,1%); D_{15} - удельный расход природного газа, (27...136м³/т); D_{16} - удельный расход кислорода, (39...134м³/т). Для модели (3) $St_p = 0,233$ (число степеней свободы $f = 128$), $F_p = 1,129$ (числа степеней свободы $f_1 = 56, f_2 = 72$). При $\alpha = 0,05$ и тех же числах степеней свободы $St_T = 1,98, F_T = 1,34$. Максимальная абсолютная ошибка расчетных значений параметра $П_{уд}$ составляет 0,154 т/(м³·сут).

Обязательным элементом управления в доменном переделе является анализ причин отклонений между плановыми и фактическими значениями таких основных технико-экономических показателей плавки, как расход кокса и производительность. Применяемая в настоящее время методика анализа причин изменений расхода кокса и производительности печей при изменении технологических факторов доменной плавки (пофакторный анализ) [1, с.216] оценивает влияние на производственные показатели разнородных компонентов шихты в форме их удельных расходов с применением утвержденных нормативных коэффициентов влияния, определенных аналитически на основе теоретических положений доменного процесса и эмпирически по данным практики доменного производства. При этом пофакторный анализ основан на предположении о линейности и независимости влияния каждого фактора на основные параметры плавки. Хотя в действительности технологические факторы влияют на параметры плавки нелинейно и неаддитивно [1, с.217]. Поэтому учет отличительных особенностей между идентичными по химическому и минералогическому составу компонентами доменной шихты, к которым относятся вторичное сырье и железосодержащие отходы, требует дополнительных сведений об их влиянии на показатели выплавки чугуна для анализа и оценки эффективности доменной плавки. Кроме того, компоненты доменной шихты следует выражать в массовых долях для устранения погрешности, вызванной наложением условия нормировки (1) в результате осуществления процесса смесеобразования в доменной печи.

На основе моделей (2) и (3) разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния сырья на перечисленные основные параметры технологического процесса производства чугуна доменной печи объемом 5000 м³. Алгоритмы пофакторного анализа реализованы в виде вычислительных модулей с применением табличного процессора Microsoft Excel. В табл. 1 представлена схема вычислительного модуля для пофакторного анализа влияния компонентов доменной шихты на удельный расход сухого скипового кокса, составленного на основе модели (2).

Исходные данные количественных значений компонентов доменной шихты для базового и сравнительного периодов вводятся в столбцы таблицы для удельных расходов. Далее рассчитываются численные значения массовых долей компонентов в доменной шихте как смеси. По численным значениям массовых долей компонентов в соответствии с формулами (2) и (3) определяются значения расходов кокса для табл. 1 или производительности для табл. 2 в базовом и сравнительном периодах, а также разности этих значений по каждому компоненту доменной шихты в отдельности при сохранении значений всех остальных компонентов в сравнительном периоде на уровне базы.

Полученные численные значения отражают силу и характер влияния в чистом виде каждого компонента доменной шихты на соответствующий параметр для 1 т чугуна.

Таблица 1

Результаты математического моделирования пофакторного влияния некоторых компонентов доменной шихты на расход скипового кокса доменной печи объемом 5000 м³

| Факторы | Периоды | | | | Влияние фактора на расход кокса | |
|---------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------------------------|--------------------|
| | 2004 г. (факт) | | 2005 г. (факт) | | на 1 т чугуна, кг/т | на всю выплавку, т |
| | база | | сравнение | | | |
| | удельный расход, кг/т | доля смеси, % | удельный расход, кг/т | доля смеси, % | | |
| Производство, т | 2705389 | | 2658633 | | | |
| Шлак обогащенный ШО | 119,700 | 6,643 | 82,000 | 4,523 | 10,155 | 26999,705 |

| | | | | | | |
|--|-------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| (0-8,37%), кг/т | | | | | | |
| Алгомерат(61,964-85079%), кг/т | 1238,300 | 68,726 | 1340,000 | 73,915 | 1,423 | 3783,553 |
| Руда железная ЖР(0-7,509%), кг/т | 25,100 | 1,393 | 0,800 | 0,044 | -33,760 | -89754,317 |
| Окатыши(5,928-32,256%),кг/т | 376,100 | 20,784 | 293,700 | 16,201 | 0,158 | 421,083 |
| Скрап(0-4,766%),кг/т | 1,300 | 0,072 | 36,600 | 2,019 | -9,418 | -25039,680 |
| Шлак производства SiMn (0-1,127%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,100 | 0,006 | -0,312 | -829,933 |
| Известняк обыкновенный (0-3,487%),кг/т | 18,400 | 1,021 | 17,600 | 0,971 | -0,381 | -1014,157 |
| Известняк доломатизированный (0-2,659%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Шлак рядовой ШР (0-2,877%), кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Отходы производства электрокорунда(0-0,161%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Плавленый шпат(0-0,055%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Антрацит(0-3,895%),кг/т | 22,900 | 1,271 | 41,700 | 2,300 | -3,560 | -9465,060 |
| Брикет металлургический(0-0,132%) | 0,000 | 0,000 | 0,400 | 0,022 | -3,260 | -8667,377 |
| Итого удельный расход доменной шихты без кокса | 1801,800 | 100,000 | 1812,900 | 100,000 | | |
| Удельный расход ПГ(27,0-135,9),м ³ /т | 95,200 | | 89,3 | | 1,974 | 5248,893 |
| Удельный расход O ₂ (39,5-134), м ³ /т | 107,300 | | 96,8 | | 2,819 | 7493,902 |
| Итого изменение приведенного расхода кокса в сравнительном периоде | | | | | -34,162 | -90823,389 |
| Расчетный удельный расход кокса, кг/т | 457,266 | | 423,365 | | -33,901 | |
| Расчетный расход кокса, т | 1237081,929 | | 1125571,679 | | | |
| Фактический удельный расход кокса, кг/т | 448,800 | | 427,4 | | -21,400 | |
| Фактический расход кокса, т | 1214178,583 | | 1136299,744 | | | |
| Отклонение(Факт-Расчет) удельного расхода кокса, кг/т | -8,466 | | 4,035 | | | |

При умножении полученного значения на объем производства чугуна в сравнительном периоде вычисляется величина чистого влияния каждого компонента доменной шихты на соответствующий параметр на всю выплавку чугуна.

Для сравнительного анализа показателей работы печи в табл. 1 приведены результаты для отчетных данных 2004 г., принятых за базу, и 2005 г. Как следует из табл. 1, уменьшение удельного расхода шлака обогащенного на 37,7 кг/т вызвало повышение удельного расхода кокса в 2005 г. на 10,156 кг/т.

Увеличение удельного расхода скрапа на 35,3 кг/т снизило удельный расход кокса на 9,418 кг/т. С увеличением на 0,1 кг/т удельного расхода шлака производства *SiMn* потребление кокса снизилось на 0,312 кг/т.

Суммарное влияние изменения факторов в 2005г. от базовых значений вызвало снижение приведенного удельного расхода кокса на 34,162 кг/т, а на весь фактический объем производства приведенная экономия кокса составила 90823,389 т. Сравнивая расчетный удельный расход кокса с фактическим следует отметить, что разность между их численными значениями составляет 8,466 кг/т в 2004 г. и 4,035 кг/т в 2005 г.

В табл. 2 представлены результаты пофакторного анализа влияния компонентов доменной шихты на удельную производительность печи по отчетным данным 2004 г., принятых за базу, и 2005 г.

Таблица 2

Результаты математического моделирования пофакторного влияния некоторых компонентов доменной шихты на производительность доменной печи объемом 5000 м³

| Факторы | Периоды | | | | Влияние фактора на производительность | |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------|
| | 2004 г. (факт) | | 2005 г. (факт) | | на 1 т чугуна, кг/т | на всю выплавку, т |
| | база | | сравнение | | | |
| | удельный расход, кг/т | доля смеси, % | удельный расход, кг/т | доля смеси, % | | |
| Производство, т | 2705389 | | 2658633 | | | |
| Шлак обогащенный ШО (0-6,7%), кг/т | 119,700 | 5,319 | 82,000 | 3,660 | -0,014 | -24587,166 |
| Алгомерат(48,62-68,405%), кг/т | 1238,300 | 55,021 | 1340,000 | 59,813 | 0,085 | 150726,862 |
| Руда железная ЖР(0-5,579%), кг/т | 25,100 | 1,115 | 0,800 | 0,036 | 0,023 | 41257,668 |
| Окатыши(4,767-25,334%),кг/т | 376,100 | 16,711 | 293,700 | 13,110 | -0,050 | -89078,692 |
| Скрап(0-3,765%),кг/т | 1,300 | 0,058 | 36,600 | 1,634 | 0,019 | 34061,474 |
| Шлак производства SiMn (0-0,893%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,100 | 0,004 | 0,001 | 1075,338 |
| Известняк обыкновенный (0-2,764%),кг/т | 18,400 | 0,818 | 17,600 | 0,786 | -0,004 | -6861,918 |
| Известняк доломатизированный (0-2,057%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Шлак рядовой ШР (0-2,283%), кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Отходы производства электрокорунда(0-0,127%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Плакиковый шпат(0-0,018%),кг/т | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Антрацит(0-3,126%),кг/т | 22,900 | 1,018 | 41,700 | 1,861 | -0,008 | -14196,699 |
| Кокс (сухой) скиповый(17,937-25,711%) | 448,800 | 19,941 | 427,400 | 19,078 | 0,054 | 95657,257 |
| Брикет металлизированны(0-0,107%) | 0,000 | 0,000 | 0,400 | 0,018 | -0,025 | -44936,431 |
| Итого удельный расход доменной шихты | 2250,600 | 100,000 | 2240,300 | 100,000 | | |
| Удельный расход ПГ(27,0-135,9),м ³ /т | 95,200 | | 89,300 | | 0,012 | 21207,193 |
| Удельный расход O ₂ (39,5-134), м ³ /т | 107,300 | | 96,800 | | -0,039 | -70002,951 |
| Итого изменение приведенного расхода кокса в сравнительном периоде | | | | | 0,053 | 94321,935 |
| Фактическая удельная производительность, т/м ³ ·сут | 1,495 | | 1,495 | | 0,000 | |
| Расчетная удельная производительность, т/м ³ ·сут | 1,484 | | 1,541 | | 0,057 | |
| Фактический КИПО, м ³ ·сут/т | 0,669 | | 0,669 | | | |
| Расчетный КИПО, м ³ ·сут/т | 0,0674 | | 0,649 | | | |
| Отклонение(Факт-Расчет) | | | | | | |
| Удельной производительности, т/м ³ ·сут | 0,011 | | -0,047 | | | |
| Число суток работы за период, сут | 336,000 | | 365,000 | | | |

Как следует из табл. 2, уменьшение удельного расхода шлака обогащенного на 37,7 кг/т вызвало снижение удельной производительности в 2005 г. на 0,01382 т/(м³·сут).

Скрап при увеличении удельного расхода на 35,3 кг/т вызвал рост удельной производительности на 0,01915 т/(м³·сут).

Применение шлака производства SiMn с удельным расходом 0,1 кг/т повысило удельную производительность на 0,0006 т/(м³·сут).

Суммарное влияние изменения перечисленных выше факторов в 2005 г. от базовых значений вызвало повышение приведенной удельной производительности на 0,05303 т/(м³·сут), а на весь фактический объем производства приведенная производительность печи выросла на

94321,935 т. Сравнивая расчетные значения удельной производительности с фактическими следует отметить, что абсолютные величины разностей между их численными значениями составляют 0,0107 т/(м³·сут) в 2004 г. и 0,04655 т/(м³·сут) в 2005 г.

Выполненный пофакторный анализ свидетельствует, что выбранные факторы в совокупности обусловили изменение в 2005 г. удельной производительности относительно 2004 г. на 0,05303 т/(м³·сут), однако по отчетным данным удельная производительность печи в 2004 г. и в 2005 г. абсолютно равны, что вызывает основание для сомнений в корректности допущенных округления численных значений этого параметра.

Исходя из того, что разработанный алгоритм математического моделирования пофакторного влияния компонентов доменной шихты на расход кокса и удельную производительность доменной печи объемом 5000 м³ составлен на основе адекватных стохастических интерполяционных моделей (2) и (3), можно также положительно утверждать и о справедливости заключения об адекватности результатов пофакторного анализа.

При этом вероятность появления существенных отклонений расчетных количественных значений анализа от реальных (достоверных) показателей этой доменной печи в соответствии с принятым уровнем значимости не превысит 5 %.

Как правило, в условиях реального производственного процесса происходят изменения параметров технологии, качества и химического состава сырья, топлива, флюсующих добавок, применяются новые компоненты доменной шихты, а также действия большого числа факторов объективного и субъективного характера.

Поэтому для обеспечения адекватности результатов моделирования необходимо периодически обновлять базу исходных данных, осуществлять пересмотр и уточнение стохастических математических моделей (2) и (3).

Таким образом, выявлены особенности формирования в объеме доменной печи смеси материалов из компонентов шихты и утрате ими свойства независимости как факторов процесса, вызывающее появление погрешности от взаимовлияния друг на друга всех компонентов смеси.

Приведены адекватные стохастические математические модели в виде степенных функций, отражающих качественное влияние и количественные связи между удельным расходом сухого скипового кокса, удельной производительностью доменной печи объемом 5000 м³, с одной стороны, и факторами производственного процесса выплавки передельного чугуна, включающими в свою совокупность смесевые компоненты, с другой.

Разработаны алгоритмы математического моделирования и пофакторного анализа влияния каждого компонента доменной шихты в общей совокупности факторов на основные параметры доменной плавки, позволяющие выполнять прогноз и оценку эффективности реализации технологических мероприятий.

Список литературы

1. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем.- М.: Наука, 1976.- 390 с.
2. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки: Монография.- Днепропетровск: Пороги, 2001.- 424 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.02.14

УДК 621.771.01

М.Г. КОРЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.С. СОТСКОВ, магистрант
Криворізький національний університет,

А.Г. ПРИСЯЖНИЙ, ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЕКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДРЕСИРУВАЛЬНИХ СТАНІВ ЦЕХІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

У статті обґрунтована можливість підвищення ступеня використання проектної потужності дресирувального стану цеху холодної прокатки ПАТ «ММК ім. Ілліча» за рахунок розширення його функціонального призначення.