

## Приоритизация технологических решений для модернизации отечественной металлургической промышленности

Проведен анализ технологий производства чугуна по технико-экономическим и экологическим показателям с целью максимально выгодного использования инвестиционных возможностей. Расчет материальных балансов проводился с помощью метода Рамма для доменного производства, комплекса Finex и модели, ранее разработанной для процесса Ромелт для расчета баланса технологии Hlsarna. Результаты данного расчета возможно использовать при выборе и приоритизации новых технологических решений для существенной модернизации отечественной металлургической отрасли.

**Ключевые слова:** жидкофазное восстановление, модернизация, экологическая безопасность, парниковые газы, калькуляция.

**Постановка вопроса.** Эффективность внедрения новых технологических решений является важным вопросом при ограничении инвестиционных возможностей. На 2017 год амортизационный уровень агло-коксо-доменного комплекса Украины достиг 90 %, поэтому существенное обновление основных фондов является лишь вопросом времени. Разрабатываются новые технологические агрегаты для получения чугуна, которые исключают стадию подготовки сырья для подачи в плавильный агрегат и существенно уменьшают себестоимость готового продукта, но большинство этих способов только готовятся к коммерциализации. Исходя из этого, в открытых источниках отсутствует информация относительно точного состава шихтовых материалов и сопутствующих затрат, что не позволяет просчитать технико-экономические показатели производства.

В связи с этим, было проведено исследование расчета материального баланса шихтовых материалов не коммерциализированных процессов для последующего вычисления технико-экономических показателей производства, а именно калькуляции себестоимости. Для обеспечения экологической безопасности производства в контексте выбросов  $CO_2$ , рассчитаны выбросы парниковых газов для каждой технологии производства чугуна.

**Методика проведения исследования.** Расчет материального баланса процессов выплавки чугуна производился по методу Рамма для доменной печи и комплекса Finex. Аналогичный расчет для процесса жидкофазного восстановления Hlsarna рассчитан с помощью модифицированного метода Рамма, ранее разработанного для процесса Ромелт [1].

В этом разделе рассматриваются две принципиально разные схемы производства чугуна – доменная печь + агломерационная фабрика + коксохимическое производство (рис. 1), комплексы Hlsarna и Finex, которые не требуют дополнительной подготовки сырья (рис. 2).

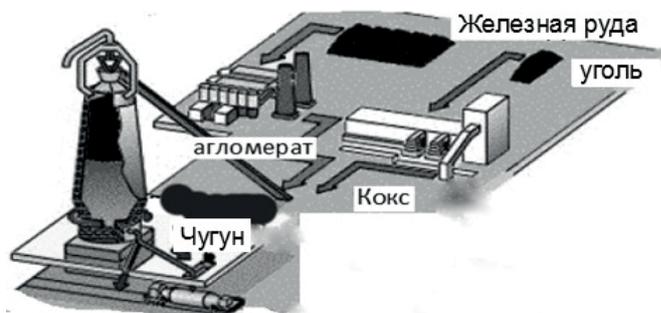


Рис. 1. Технологическая схема производства чугуна – доменная печь + аглофабрика + коксохим

Следует отметить, что в статье затрат «общезаводские расходы» включены расходы по переделу, постоянные и переменные затраты.

Результаты расчета калькуляции доменного процесса приведены в табл. 1.

Для технологии вдвухания ПУТ принимаем, что коэффициент замены кокса равен 1,1 кг ПУТ/кг кокса [2].

Рассчитаем экономический эффект от внедрения технологии ПУТ в доменном производстве по формуле (1):

$$P = C - P_{ct} - (P_c \cdot A) + P_{pc}, \quad (1)$$

где  $P$  – прибыль;  $C$  – себестоимость производимого чугуна, грн;  $P_{ct}$  – рыночная стоимость кокса, необходимого на выплавку 1 т чугуна, грн;  $P_c$  – рыночная стоимость 1 т кокса;  $A$  – количество ПУТ которое подается в доменную печь, в расчете на 1 т чугуна;  $P_{pc}$  – стоимость ПУТ, которое подается в доменную печь на 1 т чугуна;

$$6330,43 - 1508,9 + 365 = 5186,53 \text{ грн.}$$

При подаче 170 кг пылеугольного топлива, средняя стоимость которого составляет 2150 грн/т, расход

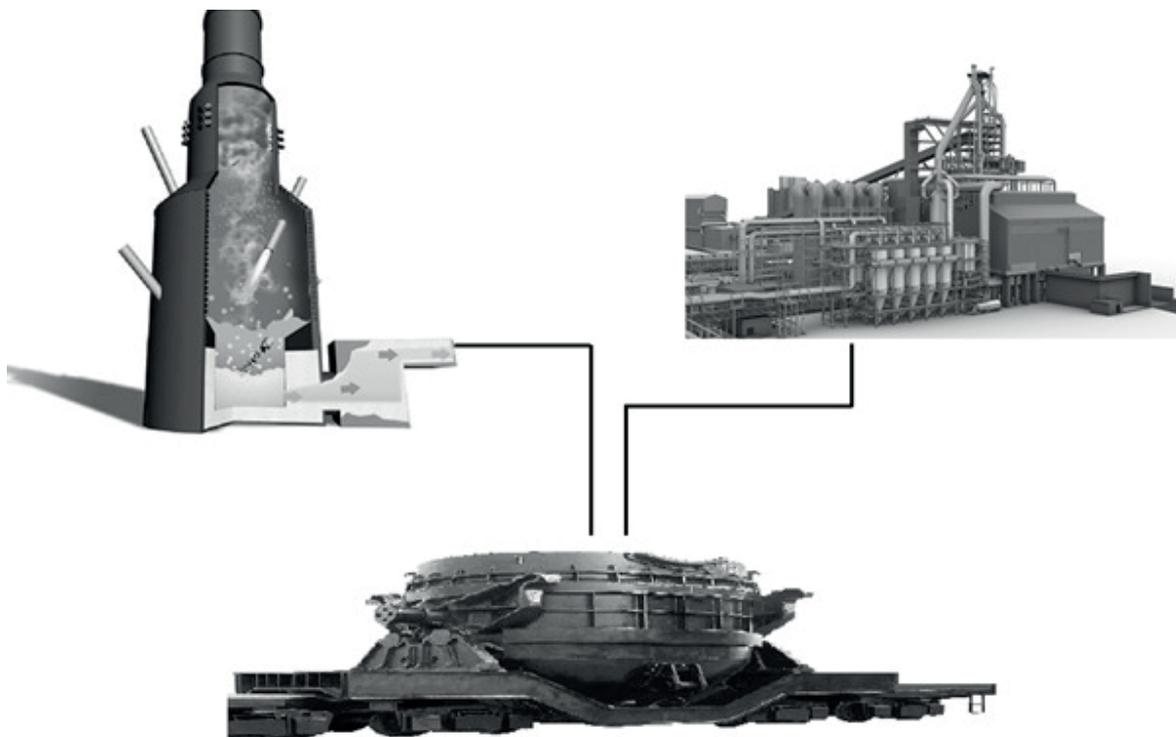


Рис. 2. Технологическая схема производства чугуна – Hisarna и комплекс Finex

Таблица 1

**Калькуляция себестоимости производства чугуна в доменной печи**

Название	Количество, т	Цена, грн/т	Сумма, грн
Агломерат, кг/т	1690	810	1368,9
Кокс, кг/т	529,5	8069	4268,5
Окатыши, кг/т	8,7	2050	17,83
Флюс, кг/т	6	200	1,2
Общезаводские расходы, грн/т		674	
Всего, грн/т		6330,43	
Рыночная цена чугуна, грн/т		6744 = 250 \$	
Чистая прибыль при годовом производстве 1,2 млн т. чугуна, грн		496284000	
Период окупаемости, лет		5,8	

кокса уменьшится на 187 кг, уровень инвестиционных потребностей на внедрение для печи полезным объемом 2000 м<sup>3</sup> в среднем составляет 35 млн. долл. Чистая прибыль при внедрении технологии ПУТ на новой доменной печи составит 1868964000 грн/год, период окупаемости агрегата уменьшится до 2,5 лет за счет уменьшения расхода кокса.

Технология рециркуляции колошниковых газов является перспективным методом уменьшения выбросов парниковых газов в доменном производстве, но необходимость работы печи на кислородном дутье в количестве не менее 900 м<sup>3</sup>/т чугуна даже при уровне экономии кокса 25 % делает данный метод производства чугуна экономически нецелесообразным. Также данную технологию имеет смысл внедрять только на новых доменных печах полезным объемом не менее 3200 м<sup>3</sup>, а амортиза-

ционный уровень доменных печей Украины превышает 90 %.

Расчет материального и теплового баланса комплекса Finex происходил с помощью метода Рамма. В качестве топлива в расчете используется каменный уголь марки Т. Следует отметить, что расчет калькуляции себестоимости чугуна, произведенного в комплексе Finex без расчета производства электроэнергии, является недостоверным, так как данная технология разрабатывалась не только для производства чугуна, но и для генерации электроэнергии с прореагировавшего газа (Finex off gas). Производительность агрегата составляет 2 млн. т чугуна в год. Результаты представлены в табл. 2.

Рассчитаем экономический эффект от производства электроэнергии в комплексе Finex. На январь

## Калькуляция себестоимости производства чугуна в комплексе Finex

Название компонента	Количество, т	Цена, грн/т	Сумма, грн
Железная руда	1850	590	1091,5
Кокс, кг/т	156	8069	1258,764
Уголь, кг/т	725	2400	1740
Флюс, кг/т	4,9	200	9,8
Дутье (кислород 95 %), м <sup>3</sup>	450	3,5 грн/м <sup>3</sup>	1575
Общезаводские расходы, грн/т		550	
Всего, грн/т		6225,064	
Рыночная стоимость чугуна, грн/т		6744 = 250 \$	
Чистая прибыль при производстве 2 млн. т чугуна в год		1037872000	
Период окупаемости, лет		8,3 года	

2017 г. стоимость электроэнергии в Украине составляет 0,714 грн/кВт·ч (минимальный тариф).

Согласно данным [3] комплекс Finex производит 145 МВт·ч электроэнергии, используя газ из системы Finex (Finex off-gas), газ коксохимического и доменного производств.

Таким образом, прибыль от производства электроэнергии составит: 145000 кВт·ч · 0,714 грн = 103530 грн/час.

Годовой доход от реализации электроэнергии составит 906922800 грн. Производительность агрегата Hlsarna – 1 млн. т чугуна в год.

В технологической схеме производства чугуна комплексом Hlsarna предполагается производство электроэнергии с прореагировавшего в рабочем пространстве газа. Согласно данным компании RioTinto [4], производство электроэнергии на предприятии в Иджмуйдене (Нидерланды) составляет около 90 МВт·ч.

Значительный период окупаемости агрегата Hlsarna связан с необходимостью работы агрегата на чистом кислородном дутье в количестве 970 м<sup>3</sup> на тонну чугуна, при рыночной стоимости 1 м<sup>3</sup> (95 %) кислорода на уровне 3,5-4 грн. Результаты калькуляции представлены в табл. 3.

Следует отметить, что действующий расчет не включает расходы на реализацию продукции и налоговое обложение.

Поскольку при производстве чугуна в агрегатах жидкофазного восстановления отсутствует потребность в подготовке шихтовых материалов, целесообразным будет рассчитать выбросы парниковых газов при внедрении технологий жидкофазного восстановления в сравнении с производством чугуна в доменной печи в комплексе с выбросами CO<sub>2</sub> при подготовке шихтовых материалов (агломерация, коксование).

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> при агломерации и коксовании проводился по формулам [5] (2-3):

$$M^{CO_2} = 3,67 \cdot 0,01 \cdot C \cdot B \times \left(1 - 3^g / 100\right) \cdot \left(1 - 4^g / 100\right), \text{ т.}, \quad (2)$$

где 3,67 – количество диоксида углерода, образующегося при полном сжигании 1 т углерода, т/т; С –

Таблица 3

## Калькуляция себестоимости чугуна в агрегате Hlsarna

Название компонента	Количество, т	Цена, грн/т	Сумма, грн
Железная руда, кг/т	1857	590	1095,63
Уголь, кг/т	925	2400	2200
Флюс, кг/т	150	200	30
Дутье (кислород 95 %), м <sup>3</sup>	970	3,5 грн/м <sup>3</sup>	3395
Общезаводские расходы, грн/т		450	
Всего, грн/т		7170,63	
Рыночная цена чугуна, грн/т		6744 = 250 \$	
Чистая прибыль при производстве 1 млн. т чугуна в год		153134000	
Период окупаемости, лет		18,9	

содержание углерода в рабочей массе топлива, %; В – расход натурального топлива за расчетный период, т; 3<sup>g</sup> – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, %; 4<sup>g</sup> – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %.

Потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания топлива приняты на уровне 3 и 9 % соответственно.

$$E = Q \cdot EF \quad (3)$$

где Q = количество кокса, производимого на предприятии, т; EF = коэффициент выбросов, т. CO<sub>2</sub>/т кокса.

*Результаты исследования.* Результаты расчетов выбросов CO<sub>2</sub> при производстве чугуна на различных технологических агрегатах и сопутствующая себестоимость производства представлены в табл. 4.

Согласно данным представленным в табл. 4, рассчитаны годовые выбросы парниковых газов при производстве чугуна в Украине на различных технологических агрегатах. Данный рисунок демонстрирует существенную разницу в экологической безопасности производства на новых агрегатах в сравнении с

### Суммарные выбросы парниковых газов при производстве чугуна на различных технологических агрегатах при производстве 1 млн. чугуна

Технологии	Суммарные выбросы CO <sub>2</sub> при производстве годового объема чугуна, учитывая стадии подготовки сырья, т. CO <sub>2</sub>	Себестоимость производства чугуна, грн/т
Finex	1860000	6225,064
Доменная печь с системой подачи ПУТ	2577211	5186,53
Hlsarna	1320000	7170,63
Доменная печь	2373051	6330,43
Доменная печь с системой рециркуляции колошниковых газов	1696851	7909,325

доменным процессом. Также использование технологий улавливания и хранения CO<sub>2</sub> в безопасном для окружающей среды виде (CCS) может существенно повысить экологическую безопасность производства.

В настоящее время не все рассмотренные технологии готовы к внедрению, комплекс Finex будет доступен к коммерциализации только после 2020 г., Hlsarna, в свою очередь, после 2025 г. [6]. Как раз в это время доменные печи Украины с высокой вероятностью достигнут 100 % амортизационного уровня, что заставит производителей существенно модернизировать металлургическую отрасль Украины внедрением новых технологических решений.

#### Выводы

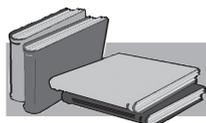
Процесс расчета приоритизации доступных для коммерциализации технологий позволил прийти к следующим выводам:

– в результате чрезвычайно высокого уровня амортизации на металлургических предприятиях Украины, обновление основных фондов – это вопрос времени, несомненным фактом является внедрение радикально новых технологических решений по причине высоких технико-экономических показателей в сравнении со старым доменным процессом;



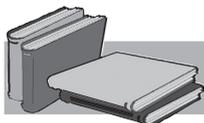
Рис. 3. Выбросы парниковых газов при производстве 22,93 млн. т чугуна на различных технологических агрегатах (1 – без CCS, 2 – с CCS)

– согласно проанализированным технико-экономическим факторам, на территории Украины более целесообразно внедрять технологии Finex и Hlsarna, которые полностью отвечают потребностям металлургии 21 века и являются энергоэффективными агрегатами для выплавки чугуна со значительным уровнем экологической безопасности. Также данные агрегаты не нуждаются в дополнительной стадии подготовки сырья, что исключает необходимость модернизации коксохимов и агломерационных фабрик, что существенно повысит период окупаемости при внедрении данных технологий.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин Д. Г. Развитие методов расчета процесса ПОМЕЛТ и его моделирование с целью совершенствования технологии : дис. – М.: Моск. гос. ин-т стали и сплавов (технол. ун-т), 2004.
2. Воденников С. А., Аносов В. Г., Лаптев Д. А. Анализ эффективности доменной плавки с заменой кокса пылеугольным допливом // Металлургия. – 2012. – № 28.
3. Beyond energy, Better life. URL: [http://www.poscoenergy.com/renew/\\_service/main.asp](http://www.poscoenergy.com/renew/_service/main.asp).
4. Rio Tinto. URL: <http://www.riotinto.com>.
5. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, European IPPC Bureau, Dec 2001, p. 122.
6. Harry Croezen, Marisa Korteland «Technological developments in Europe». A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in the European region Delft, CE Delft, June 2010, 87 p.



## REFERENCES

1. Babkin D. G. (2004). Razvitie metodov rascheta protsessa ROMELT i ego modelirovanie s tsel'iu sovershenstvovaniia tekhnologii [Development of methods calculation of ROMELT process and its modeling for the purpose of technology improvement]. Candidate's thesis. Moscow: Mosk. gos. in-t stali i splavov (tekhmol. un-t) [in Russian].
2. Vodennikov S. A., Anosov V. G., Laptev D. A. (2012). Analiz effektivnosti domennoi plavki s zamenoj koksa pyleugol'nym toplivom [The analysis of efficiency of domain melting with coke replacement with coal-dust fuel]. Metallurgii, vyp. 28 [in Russian].
3. Beyond energy, Better life. URL: [http://www.poscoenergy.com/renew/\\_service/main.asp](http://www.poscoenergy.com/renew/_service/main.asp). [in English].
4. Rio Tinto. URL: <http://www.riotinto.com>. [in English].
5. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, European IPPC Bureau (Dec 2001), p. 122 [in English].
6. Harry Croezen, Marisa Korteland (June 2010). Technological developments in Europe. A long-term view of CO<sub>2</sub> efficient manufacturing in the European region Delft, CE Delft, 87 p. [in English].

### Анотація

Шатоха В. І., Семенко С. О

Пріоритизація технологічних рішень для модернізації вітчизняної металургійної промисловості

Проведено аналіз технологій виробництва чавуну за техніко-економічними та екологічними показниками з ціллю максимально вигідного використання інвестиційних можливостей. Розрахунок матеріальних балансів проводився за допомогою методу Рамма для доменного виробництва та комплексу Finex, а також моделі, раніше розробленої для процесу Ромелт для розрахунку балансу технології Hlsarna. Результати даної статі можливо використовувати при виборі та пріоритизації нових технологічних рішень для істотної модернізації вітчизняної металургійної галузі.

### Ключові слова

Рідкофазне відновлення, модернізація, екологічна безпека, парникові гази, калькуляція.

### Summary

Shatokha V., Semenko S.

Prioritization of technologies for the national steel industry modernization

It was conducted the analysis of technologies of pig iron production on economic and environmental indicators for the purpose of the most beneficial use of investment opportunities. The calculation of material balances was performed using the method of Ramm for domain process and Finex complex, Hlsarna process was calculated using a previously developed model for the Romelt process. The results of this article may be used for the selection and prioritization of new technological solutions for the significant modernization of domestic steel industry.

### Keywords

Liquid-phase recovery, modernization, environmental safety, greenhouse gases, costing.

Поступила 03.05.17