

УДК 669.013:620.9**Т.А. АНДРЕЕВА**, канд. экон. наук, старший научный сотрудник,**В.Г. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,**А.Л. СКОРОМНЫЙ**, заместитель директора структурного подразделения,**А.А. СЛИСАРЕНКО**, заведующий лабораторией

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Рассмотрен вопрос энергоэффективности проекта внедрения непрерывной разливки стали в условиях конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского». Показано влияние способа разливки стали на энергоемкость сортового проката и товарной заготовки.

Ключевые слова: конвертерная сталь, энергоемкость, сортовой прокат, заготовка, способ разливки стали, МНЛЗ, ОНРС.

Одним из путей повышения конкурентоспособности продукции черной металлургии является снижение энергоемкости чугуна, стали и проката. С этой целью на государственном уровне принимаются программы и законы об энергосбережении [1, 2]. Например, в Российской Федерации еще в 1995 г. введены в действие «Основные направления энергосбережения в черной металлургии» [1]. В документе дан анализ использования котельно-печного топлива на предприятиях черной металлургии России и намечены технологические меры по снижению его расхода. В Украине разработана и в 2009 г. утверждена «Отраслевая программа энергосбережения и энергоэффективности на период до 2017 г.» [2] в горно-металлургическом комплексе (ГМК), которая предусматривает реализацию проектов реконструкции и модернизации горно-металлургических предприятий в рамках общей стратегии технического развития ГМК [3]. В этих документах указаны основные меры по энергосбережению и повышению энергоэффективности производства на предприятиях черной металлургии: внедрение современных технологий, изменение структуры сталеплавильного производства, использование энергосберегающего оборудования.

Как отмечено в [3], за последние годы многие металлургические предприятия Украины добились снижения расхода топливно-энергетических ресурсов в основном благодаря организационным мероприятиям. В настоящее время резервы такой экономии в черной металлургии практически исчерпаны. Дальнейший прогресс в энергосбережении может быть обеспечен путем внедрения более эффективных энергосберегающих технологий

и оборудования [3]. Например, в сталеплавильном производстве необходимо заменить оставшиеся мартеновские печи конвертерами или электросталеплавильными печами и шире использовать машины непрерывного литья заготовок стали (МНЛЗ). К 2017 г. на украинских металлургических предприятиях примерно 80–85 % выплавленной стали будет разливаться на МНЛЗ, что позволит экономить 120–150 кг у.т. на тонну проката [3].

В 2011 г. ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработаны основные технические решения проекта строительства отделения непрерывной разливки стали (ОНРС) кислородно-конвертерного цеха на ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского». В рамках этой работы Центром была оценена энергоэффективность технических решений проекта. Установлено, что она обеспечивается за счет снижения сквозных расходных коэффициентов всех полуфабрикатов, необходимых для производства сортового проката и товарных заготовок и исключения из технологического процесса обжимного передела, отливки изложниц и поддонов, а также выплавки чугуна для их изготовления.

Объективной оценкой уровня использования энергоресурсов на металлургических предприятиях является полная металлургическая энергоемкость [4]. Под энергоемкостью продукции (d , кг у.т./т) понимается сумма удельных расходов условного топлива (t , кг у.т./т) и покупной электроэнергии (e , кВт·час/т), пересчитанной в эквивалентные единицы условного топлива исходя из соотношения $1 \text{ кВт·час} = 0,34 \text{ кг у.т.}$, т.е. по среднему удельному расходу топлива, затрачиваемого на получение 1 кВт·час :

$$d = t + 0,34e. \quad (1)$$



Полную металлургическую (отраслевую) энергоемкость проката (d_o , кг у.т./т) рассчитывают по формуле [4]

$$d_o = \sum d_{цi} \cdot q_{цi} + d_{пр}, \quad (2)$$

где $d_{цi}$ – цеховая энергоемкость производства i -го полуфабриката или готовой продукции, кг у.т./т; $q_{цi}$ – сквозной расходный коэффициент i -го полуфабриката на производство готовой продукции, т/т; $d_{пр}$ – прочие постоянные расходы энергоресурсов, кг у.т./т.

Сквозной расходный коэффициент полуфабриката на производство товарной продукции рассчитывается путем перемножения расходных коэффициентов полуфабрикатов по всем технологическим переделам металлургического производства [4].

Цеховая энергоемкость производства товарной продукции или каждого полуфабриката (выплавка стали и чугуна, производство извести, кокса и т.п.) включает в себя прямые удельные расходы покупной электроэнергии и условного топлива в цехе, а также цеховые удельные расходы производных энергоносителей (кислород, дутье и др.), выработанных на предприятии и пересчитанных в удельный расход покупной электроэнергии и условного топлива.

Из формул (1) и (2) следует, что отраслевая энергоемкость проката может быть рассчитана с учетом выражения

$$d_o = \sum t_{цi} \cdot q_{цi} + 0,34 \cdot (\sum e_{цi} \cdot q_{цi}) + d_{пр}. \quad (3)$$

Сомножители, стоящие под знаками суммы, – это сквозные энергоемкость (e_o , кВт·час/т) и топливоемкость (t_o , кг у.т./т):

$$e_o = \sum e_{цi} \cdot q_{цi}, \quad t_o = \sum t_{цi} \cdot q_{цi}. \quad (4)$$

Для оценки эффективности проектных решений следует сравнить отраслевую энергоемкость товарной продукции до и после внедрения проекта. Используя формулы (3), (4) и допущение, что прочие расходы энергоресурсов ($d_{пр}$, кг у.т./т) при внедрении проекта останутся на прежнем уровне, получим экономию или перерасход (Δd , кг у.т./т) при производстве товарной продукции после внедрения проекта:

$$\Delta d = d_{оп} - d_o = (t_{оп} - t_o) + 0,34 \cdot (e_{оп} - e_o), \quad (5)$$

где d_o , $d_{оп}$ – отраслевая энергоемкость товарной продукции соответственно до и после внедрения проекта, кг у.т./т;

t_o , $t_{оп}$ – сквозная отраслевая топливоемкость до и после внедрения проекта, кг у.т./т;

e_o , $e_{оп}$ – сквозная отраслевая энергоемкость до и после внедрения проекта, кВт·час/т.

Из формулы (5) следует, что об эффективности использования энергоресурсов при внедрении проектных решений можно судить путем сравнения отраслевых энергоемкостей товарной продукции до и после внедрения, а также сравнивая по отдельности сквозные топливо- и энергоемкость.

Оценку энергоэффективности строительства ОНРС в кислородно-конвертерном цехе ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» выполняли при помощи расчета величины экономии энергоресурсов на основе сравнения удельных сквозных затрат условного топлива (топливоемкости) и покупной энергии (энергоемкости) с использованием формул (4) и (5).

На рис. 1 представлена технологическая схема производства проката при разливке стали в слитки по данным за 2010 г., т.е. до предполагаемой реконструкции. На схеме по каждому переделу показаны: над стрелкой – расход полуфабрикатов, под стрелкой – их расходные коэффициенты.

Для наглядности изменений в технологии производства стали после ввода ОНРС расходный коэффициент на получение одной тонны годных слитков (0,9416 т/т) представлен на рис. 1 в виде расхода чугуна на выплавку жидкой стали (0,871 т/т) и расхода жидкой стали на тонну слитков (1,081 т/т).

Сквозной расходный коэффициент чугуна на производство сортового проката является произведением следующих расходных коэффициентов: чугуна на выплавку жидкой стали (0,871 т/т), жидкой стали на получение ее слитков (1,081 т/т), слитков на изготовление катаных заготовок (1,0885 т/т) и катаных заготовок на выпуск сортового проката (1,0536 т/т). Таким образом, сквозной расходный коэффициент чугуна на производство сортового проката до реконструкции конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» составлял $0,871 \cdot 1,081 \cdot 1,0885 \cdot 1,0536 = 1,0798$ т/т (данные на 2010 г.).

На рис. 2 показана технологическая схема производства проката после ввода в эксплуатацию отделения непрерывной разливки стали с МНЛЗ. Проектом предусмотрено, что товарная продукция завода должна состоять из готового сортового проката (690 тыс. т в год) и непрерывно-литых заготовок (655 тыс. т в год).

При расчетах сквозных топливоемкости и энергоемкости сортового проката после реконструкции конвертерного цеха расходные коэффициенты чугуна на выплавку жидкой стали, а также кокса, агломерата и окатышей на выплавку чугуна приняты без изменений. Расходные коэффициенты жидкой стали на производство литых заготовок и литых заготовок

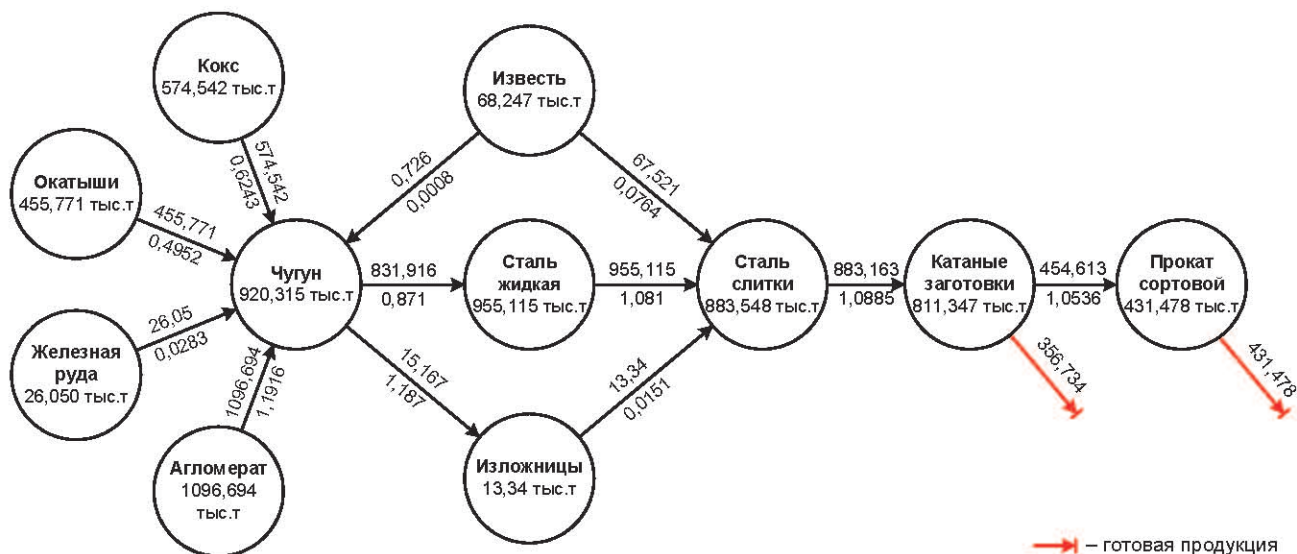


Рисунок 1 – Технологическая схема производства проката до реконструкции конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

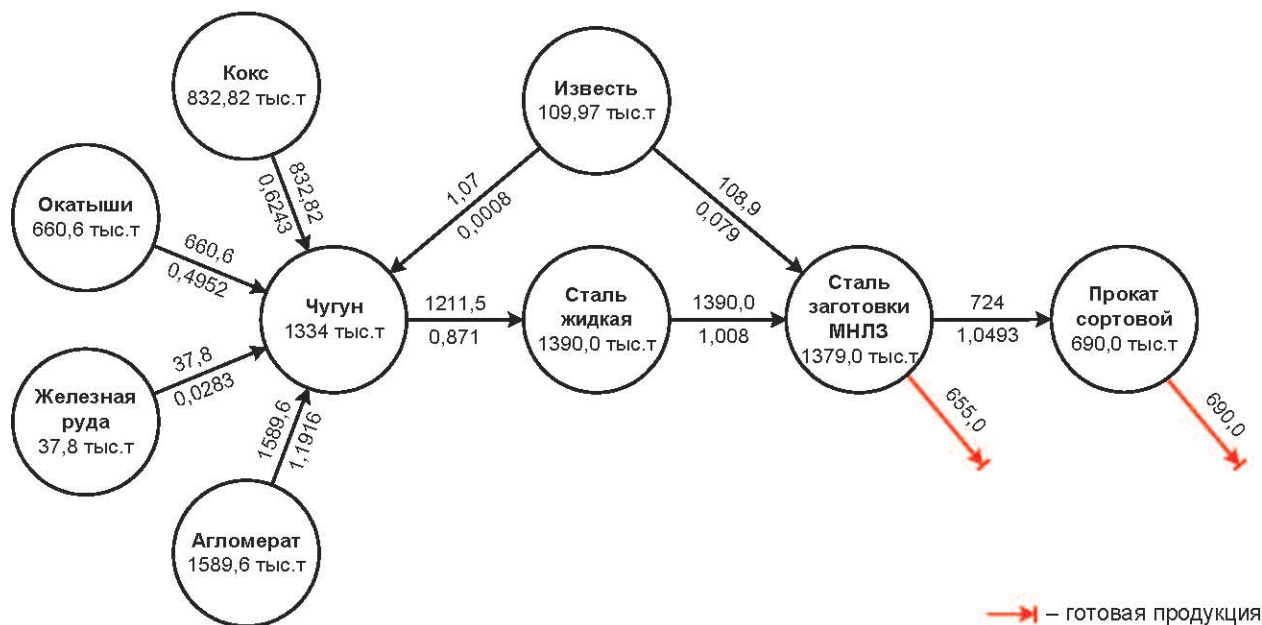


Рисунок 2 – Технологическая схема производства проката после реконструкции конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

на получение проката приняты в соответствии с проектным заданием.

В табл. 1, 2 приведен расчет сквозной отраслевой электро- и топливеемкости проката и товарных заготовок при разливке стали в слитки и на МНЛЗ. Цеховая энергоемкость производства чугуна, стали, проката, изложниц и поддонов, катаных слябов и проката рассчитана исходя из энергобаланса завода за 2010 г., а цеховая энергоемкость производства агломерата, окатышей, железорудного концентрата и извести принята на уровне среднеотраслевых значений.

Цеховая энергоемкость стали при внедрении непрерывной разливки возрастет вследствие затрат электроэнергии на работу МНЛЗ и необходимости разогрева промежуточных ковшей. Учтено также некоторое увеличение расхода извести в конвертерном цехе в связи с вводом МНЛЗ.

Сквозные удельные затраты электроэнергии на производство сортового проката при разливке стали в слитки составляют 699,0 кВт·час/т, топлива – 1133,6 кг у.т./т, а энергоемкость равна 1371,3 кг у.т./т. При переходе на непрерывную разливку стали энергозатраты составят



659,5 кВт·час/т и 928,9 кг у.т./т, т.е. сократятся на 39,5 кВт·час и 204,7 кг у.т. на тонну проката. При этом энергоемкость сортового проката уменьшится до 1153,1 кг у.т./т, или, согласно формуле (5), на 218,1 кг у.т./т. Улучшение энергоэффективности произойдет в основном благодаря ликвидации обжимного передела (экономия составит 58,3 кВт·час/т) и уменьшения расхода железорудного концентрата на 0,3 т/т проката, что равносильно экономии 30,1 кВт·час/т. Вместе с тем следует учитывать, что электроемкость стали вырастет на 87,7 кВт·час/т.

Снижение топливемкости проката достигается в основном за счет уменьшения сквозного расходного коэффициента чугуна на прокат почти на 0,16 т/т, что дает экономию условного топлива 109,7 кг/т. Ликвидация обжимного передела обуславливает снижение расхода

условного топлива на 50,8 кг/т. При прогнозируемом объеме производства сортового проката 690 тыс. т/год годовая экономия электроэнергии составит около 27,2 млн кВт·час, а условного топлива – 141,2 тыс. т.

При разливке стали в слитки на производство одной тонны заготовок расходуется 536,3 кВт·час и 985,9 кг у.т. (энергоемкость – 1168,2 кг у.т./т), а в случае непрерывной разливки стали – 500,8 кВт·час и 795 кг у.т./т (энергоемкость – 965,3 кг у.т./т). Таким образом, внедрение технологии непрерывной разливки стали обеспечит снижение энергоемкости заготовок на 203 кг у.т./т, при этом удельные расходы электроэнергии и топлива уменьшатся на 35,5 кВт·час/т и 190,9 кг у.т./т соответственно.

Вследствие вывода обжимного передела электроемкость товарной заготовки снизится на 55,3 кВт·час/т,

Таблица 1 – Влияние способа разливки стали на сквозную отраслевую энергоемкость сортового проката ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Продукция, полуфабрикаты	Цеховая энергоемкость		Разливка стали в слитки			Разливка стали на МНЛЗ		
	e_u , кВт·час	t_u , кг у.т./т	q_c , т/т	$q_c \cdot e_u$, кВт·час	$q_c \cdot t_u$, кг у.т./т	q_c , т/т	$q_c \cdot e_u$, кВт·час	$q_c \cdot t_u$, кг у.т./т
Сортовой прокат	133,9	94,9	1,0	133,9	94,9	1,0	133,9	94,9
Катаная заготовка	55,3	48,2	1,0536	58,3	50,8	–	–	–
Сталь, слитки	120,5	10,3	1,1468	138,2	11,8	–	–	–
Сталь, литые заготовки	208,2	16,3	–	–	–	1,0493	218,5	17,1
Изложницы	118,7	93,5	0,0173	2,1	1,6	–	–	–
Чугун (на сталь)	83,4	692,1	1,0798	90,1	747,3	0,9212	76,8	637,6
Чугун (на изложницы)	83,4	692,1	0,0197	1,6	13,6	–	–	–
Известь	35,5	126,0	0,0956	3,4	12,0	0,0829	2,9	10,4
Кокс	35,0	168,2	0,6864	24,0	115,5	0,5756	20,1	96,8
Агломерат	32,4	47,1	1,3102	42,5	61,7	1,0977	35,6	51,7
Окатыши	35,0	38,0	0,5445	19,1	20,7	0,4562	16,0	17,3
Железорудный концентрат	100,5	2,0	1,8487	185,8	3,7	1,5489	155,7	3,1
ИТОГО				699,0	1133,6		659,5	928,9

Таблица 2 – Влияние способа разливки стали на сквозную отраслевую энергоемкость товарных заготовок ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Продукция, полуфабрикаты	Цеховая энергоемкость		Разливка стали в слитки			Разливка стали на МНЛЗ		
	e_u , кВт·час	t_u , кг у.т./т	q_c , т/т	$q_c \cdot e_u$, кВт·час	$q_c \cdot t_u$, кг у.т./т	q_c , т/т	$q_c \cdot e_u$, кВт·час	$q_c \cdot t_u$, кг у.т./т
Катаная заготовка	55,3	48,2	1,0	55,3	48,2	–	–	–
Сталь, слитки	120,5	10,3	1,0885	131,2	11,2	–	–	–
Сталь, литые заготовки	208,2	16,3	–	–	–	1,0	208,2	16,3
Изложницы	118,7	93,5	0,0164	1,9	1,5	–	–	–
Чугун (на сталь)	83,4	692,1	1,0256	85,5	709,8	0,8780	73,2	607,7
Чугун (на изложницы)	83,4	692,1	0,0187	1,6	12,9	–	–	–
Известь	35,5	126,0	0,0907	3,2	11,4	0,0790	2,8	10,0
Кокс	35,0	168,2	0,6493	22,7	109,2	0,5481	19,2	92,2
Агломерат	32,4	47,1	1,2444	40,3	58,6	1,0462	33,9	49,3
Окатыши	35,0	38,0	0,5171	18,1	19,6	0,4348	15,2	16,5
Железорудный концентрат	100,5	2,0	1,7559	176,5	3,5	1,4757	148,3	3,0
ИТОГО				536,3	985,9		500,8	795,0

а топливемкость – на 48,2 кг у.т./т. Уменьшение сквозного расходного коэффициента чугуна на 0,15 т/т проката обуславливает снижение топливемкости товарной заготовки на 103,8 кг у.т./т. Годовая экономия электроэнергии при объеме производства товарных заготовок 655 тыс. т в год составит около 23,2 млн кВт·час, а условного топлива – 125 тыс. т.

Общая годовая экономия электроэнергии после ввода в эксплуатацию ОНРС достигнет 50,4 млн кВт·час, условного топлива – 266,2 тыс. т. При расчетах учтена экономия топлива и электроэнергии в результате повышения энергоэффективности производства и снижения потребности в коксе и железорудном сырье.

ВЫВОДЫ

Внедрение отделения непрерывной разливки стали на ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» приведет к увеличению цеховой энергоемкости стали на 87,7 кВт·час/т и 6 кг у.т./т – в основном из-за затрат электроэнергии на работу МНЛЗ и расхода топлива на разогрев промежуточных ковшей. При этом сквозная топливемкость сортового проката и товарной заготовки снизится соответственно на 204,7 и 190,9 кг у.т./т, а электроемкость – на 39,5 и 35,5 кВт·час/т.

Розглянуто питання енергоефективності проекту впровадження безперервного розливу сталі в умовах конвертерного цеху ПАТ «ЄВРАЗ – ДМЗ ім. Петровського». Показано вплив способу розливу сталі на енергоємність сортового прокату і товарної заготовки.

Общая годовая экономия электроэнергии составит 50,4 млн кВт·час, условного топлива – 266,2 тыс. т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://do.gendocs.ru/docs/index-23252.html>.
2. Энергосбережение. Основные направления энергосбережения в черной металлургии. Технологические мероприятия по снижению расхода котельно-печного топлива. Р 50-605-100-94, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bestpravo.ru/rossijskoje/pt-zakony/z1a.htm>.
3. Кукин С. Энергоэффективность – безальтернативный путь для черной металлургии [Электронный ресурс] / С. Кукин, В. Лесовой ; МинПром Информационное агентство. – 2010. – Режим доступа : <http://minprom.ua/articles/43987.html>.
4. Снижение энергозатрат на производство металлопродукции при реконструкции мартеновского цеха ПАО «Донецксталь» – металлургический завод / В.Г. Литвиненко, А.Л. Скоромный, А.А. Слисаренко, Т.А. Андреева, Р.А. Перетяцько // Экология и промышленность. – 2012. – № 3. – С. 99–105.

Поступила в редакцию 24.04.2013

Energy-efficiency of the project on implementing continuous steel casting in BOF shop is considered. It is shown influence of casting method on energy intensity of rolled section and commodity billets.