



УДК 669.012.3:657.471.76

Д.В. СТАЛИНСКИЙ, д.т.н., генеральный директор,

В.Г. ЛИТВИНЕНКО, к.т.н., ведущий научный сотрудник, Т.А. АНДРЕЕВА, к.э.н., старший научный сотрудник

УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

Г.Н. ГРЕЦКАЯ, к.э.н., доцент

Харьковская государственная академия городского хозяйства

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОКАТА ПРИ ВНЕДРЕНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Представлены данные об изменении удельных расходов энергоресурсов на производство товарной продукции, из которых следует, что только использование показателя сквозной энергоёмкости может дать объективную информацию. Анализ показателей сквозной энергоёмкости при внедрении МНЛЗ показывает, что чем выше доля спокойных и низколегированных марок сталей, тем больше эффект от внедрения.

**непрерывная разливка стали, сквозная энергоёмкость, сортамент проката**

Внедрение мероприятий по энергосбережению должно сопровождаться уменьшением удельного расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на производство конечной (товарной) продукции в целом по предприятию. Однако определение действительной величины снижения расхода ТЭР представляет некоторую методическую сложность. Данные статистической отчетности (форма № 11-МТП) имеют принципиальные недостатки [1, 2]: не учитывается расход полуфабрикатов собственного изготовления (агломерат, чугун, сталь и др.) при получении конечной продукции (проката), а также количество производных энергоносителей, вырабатываемых на предприятии (пар, кислород, сжатый воздух). В связи с этим данные статистической отчетности в лучшем случае не полностью отражают изменение затрат энергоресурсов в целом по предприятию, а в худшем дают неточную или искаженную информацию.

Объективная оценка изменения энергопотребления на предприятии может быть получена только при расчете и анализе сквозной энергоёмкости продукции [3, 4].

В качестве примера рассмотрены данные по ОАО «Алчевский меткомбинат» (АМК), на котором внедрено одно из наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий в черной металлургии – непрерывная разливка стали. В 2006 г. на комбинате производили листовую прокат на стане 2800 из стали, разливаемой в слитки, и на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), что дает возможность определить эффективность внедрения непрерывной разливки стали, выплаваемой к тому же в одинаковых печах – двухванных сталеплавильных агрегатах (ДСПА).

Для определения экономии ТЭР была рассчитана сквозная заводская энергоёмкость для листа стана 2800 при каждом способе разливки стали по данным комбината.

Сквозная энергоёмкость  $d_c$  (кг у.т.) натуральной единицы (н.е.) продукции может быть выражена в следующем виде [5]:

$$d_c = d + \sum d_{цп} \cdot q_{цп},$$

где  $d$  – цеховая энергоёмкость продукции в выпускающем ее цехе, кг у.т./н.е.;  $d_{цп}$  – цеховая энергоёмкость полуфабрикатов, производимых на этом предприятии и используемых прямо или косвенно для получения конечной продукции, кг у.т./н.е.;  $q_{цп}$  – сквозной удельный расход полуфабрикатов, н.е./н.е.

Если на выплавку чугуна расходуется 1,7 т/т агломерата, на выплавку стали – 0,75 т/т чугуна, а на производство слябов – 1,2 т/т стали, то сквозной расходный коэффициент агломерата на тонну слябов составит  $1,7 \cdot 0,75 \cdot 1,2 = 1,53$  т/т.

Сквозная энергоёмкость для комбината – это удельный расход условного топлива  $t$  (кг у.т./н.е.) и покупной электроэнергии  $e$  (кВт · час/т), пересчитанный в  $d$  (кг у.т./т):

$$d = t + 0,34 e.$$

Так как тепловая энергия вырабатывается на комбинате, то ее потребление учитывается в виде топлива и покупной электроэнергии, израсходованных на по-

лучение тепла. Цеховая энергоемкость – это удельные затраты топлива, покупной электроэнергии и производных энергоносителей, пересчитанные в эквивалентное количество топлива и покупной электроэнергии. При расчете заводской энергоемкости принимаются во внимание расход полуфабрикатов и их цеховая энергоемкость. При определении отраслевой (полной металлургической) энергоемкости учитывается также расход полуфабрикатов (железорудный концентрат, окатыши, кокс, коксовый газ, ферросплавы, огнеупоры и др.), производимых в горно-металлургическом комплексе (ГМК), и их энергоемкость.

В табл. 1 представлены данные по заводской  $d_{\text{ц}}$  и отраслевой  $d_{\text{о}}$  сквозной энергоемкости проката стана 2800. Для листа из слябов МНЛЗ  $d_{\text{ц}} = 1107,5$  кг у.т./т, а из слитков –  $d_{\text{ц}} = 1333,7$  кг у.т./т, что дает экономию 226,2 кг у.т./т (17,0 %). Это результат значительного (на 269,1 кг/т) снижения сквозного расхода стали на производство толстого листа (1,4937 т/т – при разливке в слитки и 1,2246 т/т – при разливке на МНЛЗ). При этом в мартеновском цехе затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) увеличиваются на 19,2 кг у.т./т (с 112,7 до 131,9 кг у.т./т). Экономия ТЭР за счет ликвидации обжимного передела составляет 70,3 кг у.т. на тонну листа. Еще больший эффект достигается в результате уменьшения сквозного расхода чугуна на 0,2216 т/т, обусловленного уменьшением количества выплавляемой стали, и, как следствие, прекращением отливки изложниц и поддонов.

Экономия ТЭР составляет  $0,2216 \cdot 588,6 = 130,6$  кг у.т., где 588,6 – цеховая энергоемкость чугуна. Уменьшается также сквозной расход агломерата на 0,379 т/т, что равносильно экономии 26,1 кг у.т. Некоторое увеличение потребления (на 3,3 кг у.т./т) ТЭР на производство извести из-за ее повышенного расхода в мартеновском цехе при разливке стали на МНЛЗ не оказывает существенного влияния. Прочие затраты энергоносителей (на транспортные, ремонтные, общезаводские услуги) уменьшаются на 21,8 кг у.т./т.

Если при производстве толстого листа учитывать все затраты энергоресурсов в ГМК, то за счет внедрения непрерывной разливки стали достигается еще большая экономия ТЭР (272,1 кг у.т./т). На этот показатель влияет также уменьшение затрат на выжиг кокса на 19,0 кг у.т./т при снижении его сквозного расхода на тонну листа на 0,1026 т/т, на добычу и обогащение железорудного концентрата – на 14,2 кг у.т./т при уменьшении его сквозного расхода на 0,3924 т/т. Прочие затраты ТЭР в ГМК (на производство ферросплавов, огнеупоров и т.п.) ориентировочно уменьшаются на 8,7 кг у.т./т.

Следует иметь в виду, что такое значительное снижение расходов ТЭР при внедрении непрерывной разливки стали достигается только при производстве толстого листа. При получении сортового проката и тонкого листа экономия будет меньше из-за меньшей величины обрези в прокатных цехах. Еще большее влияние оказывает марочный состав стали, определяющий величину

Таблица 1 – Зависимость сквозной энергоемкости ( $d_{\text{с}}$ ) листового проката от цеховой энергоемкости ( $d_{\text{ц}}$ ) полуфабрикатов и их сквозного расходного коэффициента ( $q_{\text{с}}$ ) на производство проката

Полуфабрикат	$d_{\text{ц}}$ , кг у.т./н.е	Листовой прокат из			
		катаных слябов		слябов МНЛЗ	
		$q_{\text{с}}$ , т/н.е.	$q_{\text{с}} \cdot d_{\text{ц}}$ , кг у.т./н.е.	$q_{\text{с}}$ , т/н.е.	$q_{\text{с}} \cdot d_{\text{ц}}$ , кг у.т./н.е
Известь (т)	149,3	0,0894	12,8	0,1074	16,1
Агломерат (т)	68,6	2,1214	145,5	1,7424	119,4
Чугун (т)	588,6	1,2405*	730,3	1,0189	599,7
Сталь в слитках ДСПА (т)	75,4	1,4937	112,7	–	–
Сталь в литых слябах (т)	107,7	–	–	1,2246	131,9
Слябы катаные (т)	57,1	1,2301	70,3	–	–
Затраты ТЭР в прокатном цехе	231,8	1,0	231,8	1,0	231,8
Прочие заводские затраты ТЭР			30,3		8,5
Заводская энергоемкость			1333,7		1107,5
Окатыши (т)	69,9	0,1195	8,3	0,0982	6,9
Железорудный концентрат (т)	36,2	2,1962	79,4	1,8038	65,2
Кокс** (т)	180,1	0,5853	105,6	0,4807	86,6
Коксовый газ (тыс. м <sup>3</sup> )	92,2	0,1891	17,5	0,1615	14,9
Прочие затраты ТЭР***			48,3		39,6
Отраслевая энергоемкость			1592,9		1320,7

\* – с учетом расхода чугуна на отливку изложниц и поддонов;  
 \*\* – с учетом расхода коксовой мелочи в агломерационном цехе;  
 \*\*\* – с учетом затрат на выплавку ферросплавов, на производство огнеупоров и т.п.



обрези в обжимном цехе. На комбинате лист производится в основном из спокойных и низколегированных марок стали (расходный коэффициент металла на блюминге – 0,2301 т/т). С увеличением доли кипящих и полуспокойных марок стали экономия ТЭР уменьшается в результате снижения величины сквозного коэффициента расхода стали, чугуна, агломерата и т.д.

Средняя энергоёмкость проката на предприятии во многом зависит не от удельного расхода ТЭР на изготовление каждого вида проката (сортового, листового, товарных заготовок), а от их соотношения в общем объеме товарного металла. Необходимо учитывать, что, например, энергоёмкость заготовок при одинаковом марочном составе стали меньше, чем проката из этих заготовок, а энергоёмкость сортового проката – меньше, чем энергоёмкость толстого листа.

Для того чтобы сделать заключение о действительном снижении расхода ТЭР на предприятии, необходим анализ изменения энергоёмкости каждого вида товарного проката. Кроме того, внедрение мероприятий по экономии какого-либо ресурса в каком-то цехе может сопровождаться увеличением потребления этого ресурса в целом по предприятию. Поэтому представляет интерес сравнение затрат ТЭР на производство проката на АМК в 2004 г., когда всю сталь разливали в слитки, и в 2006 г.

В табл. 2 приведены данные по сквозной заводской энергоёмкости проката для отдельных видов и в среднем по комбинату. За два года значительно изменился сортимент готового проката. Если в 2004 г. листовой прокат составлял 47,4 %, сортовой – 47,3 %, а катаные товарные заготовки – 5,3 %, то в 2006 г. количество листового проката сократилось до 34,3 %, а сортового – до 9,2 %. Зато основную часть готового проката составили литые заготовки с МНЛЗ – 52,6 % и прокат (в основном сортовой) из заготовок со стороны – 4,0 %. Энергоёмкость такого проката незначительна (245,8 кг у.т./т), так как комбинат не расходует энергоресурсы для выплавки стали и чугуна.

За счет увеличения доли заготовок в готовом прокате его средняя энергоёмкость должна была бы снизиться на 98,9 кг у.т./т (10,0 %). Кроме того, внедрение непрерывной разливки стали позволило снизить энергоёмкость слябов с МНЛЗ (713,5 кг у.т./т) по сравнению с катаными (890,9 кг у.т./т) на 20,0 %, то есть средняя энергоёмкость товарного проката могла бы уменьшиться до 795,7 кг у.т./т, или на 19,5 %. Фактическое же снижение составило 72,1 кг у.т./т (7,3 %). Согласно данным статотчетности, энергозатраты проката уменьшились всего на 1,2 кг у.т./т, или на 0,7 %, что не отражает действительности.

Однако сравнение величин сквозной энергоёмкости проката за два года также не дает возможности оценить величину экономии энергоресурсов. Только сравнение энергоёмкости однотипных видов проката позволяет дать правильную оценку результатов энергосбережения. Из табл. 2 следует, что в 2006 г. по сравнению с 2004 г. увеличилась энергоёмкость листового (1274,0 и 1136,9 кг у.т./т) и сортового (1115,2 и 864,5 кг у.т./т) проката, катаных слябов (890,9 и 790,7 кг у.т./т) и блюмов (801,8 и 703,6 кг у.т./т), полученных из слитков стали.

Существенное увеличение сквозной энергоёмкости проката явилось результатом влияния следующих факторов. В 2006 г. произошел значительный рост цеховой энергоёмкости продукции во всех подразделениях основного производства:

	2004 г.	2006 г.		2004 г.	2006 г.
Известь	144,0	149,3	Слябы	46,1	57,1
Агломерат	58,1	68,6	Блюмы	48,0	57,1
Чугун	567,8	588,6	Сорт	134,4	269,1
Сталь	91,1	113,6	Лист	174,7	211,4

Наиболее значительный рост энергоёмкости – в сортопрокатном цехе (в 2 раза), в мартеновском (на 23,8 %), листопркатных (на 21,2 %), агломерационном (на 17,2 %) – это следствие увеличения расхода энергоносителей в этих цехах и изменения величины по-

**Таблица 2 – Влияние сортамента товарного проката и объема производства (Q, тыс. т) на среднюю сквозную заводскую энергоёмкость ( $d_s$ , кг у.т./т)**

Виды проката	2004 г.				2006 г.			
	Q, тыс. т	e, кВт · час/т	t, кг у.т./т	$d_s$ , кг у.т./т	Q, тыс. т	e, кВт · час/т	t, кг у.т./т	$d_s$ , кг у.т./т
Листовой из слитков*	1380,5	492,8	969,4	1136,9	976,6	555,7	1085,1	1274,0
Листовой из слябов МНЛЗ	–	–	–	–	141,5	615,3	898,3	1107,5
Сортовой из слитков	1380,0	383,8	734,0	864,5	299,4	526,5	936,2	1115,2
Слябы МНЛЗ	–	–	–	–	1715,2	395,1	579,2	713,5
Слябы катаные	152,7	323,3	680,8	790,7	–	366,3	766,4	890,9
Блюмы катаные	2,1	288,4	605,5	703,6	–	330,9	689,3	801,8
Прокат из покупного металла	–	–	–	–	130,1	120,0	205,0	245,8
Всего проката	2915,3	432,2	842,2	989,1	3262,8	453,8	762,7	917,0

\* – в среднем по двум листовым станам.

терь. В 2006 г. по сравнению с 2004 г. увеличился расход электроэнергии на транспортировку технической воды с 438,0 до 524,6 кВт · час/тыс. м<sup>3</sup>, выработку технического кислорода с 1061,6 до 1139,1 кВт · час/тыс. м<sup>3</sup>, компрессорного воздуха с 101,9 до 120,7 кВт · час/тыс. м<sup>3</sup>. Возрос расход топлива на выработку дутья с 57,6 до 60,0 кг у.т./тыс. м<sup>3</sup>, пара ТЭЦ – с 196,0 до 242,9 кг у.т./Гкал и в среднем пара, распределяемого по комбинату, – с 18,0 до 30,5 кг у.т./Гкал.

Увеличение расходных коэффициентов полуфабрикатов оказало меньшее влияние: чугуна на сталь в слитках – на 22,5 кг/т, слитков на блюмы – на 11,8 кг/т, блюмов на сортовой прокат – на 13,3 кг/т. Но одновременно снизился расход агломерата собственного производства на выплавку чугуна на 20,2 кг/т, слитков стали на слябы – на 14,3 кг/т и слябов на лист – на 5,3 кг/т.

При расчете экономического эффекта от снижения энергоемкости в результате внедрения непрерывной разливки стали необходимо учитывать, что при сокращении потребности в стали одновременно уменьшается и количество оборотного лома на предприятии. Поэтому приходится или увеличивать долю чугуна в металлошлите, или приобретать дополнительно металлолом.

В 2006 г. снижение энергоемкости листового проката на 226,2 кг у.т./т было равнозначно уменьшению потребности в электроэнергии на 33,4 кВт · час, в коксе – на 61,2 кг, в коксовой мелочи – на 1,1 кг, в мазуте – на 1,9 кг, в угле (в основном марки АС) – на 17,9 кг, в газе доменном – на 469 м<sup>3</sup>, коксовом – на 27,6 м<sup>3</sup> и природном – на 90,3 м<sup>3</sup>.

Эффект от снижения расхода энергоресурсов определяется как

$$\Delta T_i \cdot C_i - M \cdot C_w,$$

где  $\Delta T_i$  – количество сэкономленного энергоносителя  $i$ , н.е./т;  $C_i$  – цена энергоносителя  $i$ , грн/н.е;  $M$  – увеличение потребности в металлоломе, т/т;  $C_w$  – цена покупного металлолома, грн/т.

Увеличение потребности в металлоломе в 2006 г. рассчитывалось таким образом:

$$M = 0,2143 \cdot 0,895 - (1,4937 - 1,2246) \cdot 0,366,$$

где 0,2143 – расходный коэффициент стали на блюминге; 0,895 – доля обрезки в отходах металла на блюминге; 1,4937 и 1,2246 – сквозной расход стали на тонну листа соответственно при разливке в слитки и на МНЛЗ.

$$M = 0,0933 \text{ т на тонну листа.}$$

Разумеется, при расчете экономического эффекта нужно учитывать увеличение амортизационных отчислений, стоимости запчастей, сменного оборудования и добавочных материалов в связи с пуском МНЛЗ.

Таким образом, оценка энергосберегающей политики на АМК является неоднозначной. Во-первых, внедрена непрерывная разливка стали, что дает значительную экономию энергоресурсов. Во-вторых, изменился сортмент проката – уменьшилась доля готового проката (лист и сорт), возросла доля товарных заготовок, которые, по сути, являются полуфабрикатами и поэтому требуют меньших затрат ТЭР. В-третьих, увеличилась энергоемкость готового проката и полуфабрикатов для его производства, получаемых из слитков стали.

## ВЫВОДЫ

1. Получение объективной информации об изменении удельных расходов энергоресурсов на производство товарной продукции металлургических предприятий возможно только при использовании показателя сквозной энергоемкости. Статистическая отчетность такой информации дать не может.

2. Объективную оценку изменения энергоемкости проката можно получить лишь при условии учета изменения его состава. При этом следует иметь в виду, что энергоемкость производства толстого листа больше, чем сортового проката, а энергоемкость заготовок (слябов и блюмов) меньше, чем готового проката при одном и том же способе разливки стали.

3. Внедрение непрерывной разливки стали для производства листового проката позволяет сократить удельные затраты энергоресурсов на 13 % (166 кг у.т./т), а при производстве литых товарных заготовок – на 20,0 % (178 кг у.т./т). Величина экономии ТЭР при внедрении МНЛЗ зависит от сортамента проката, марочного состава стали и обусловлена как устранением одного передела (в обжимном цехе), так и снижением сквозного расхода одного коэффициента полуфабрикатов. Чем выше доля спокойных и низколегированных марок стали, тем больше эффект от внедрения МНЛЗ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грецкая, Г.Н. Проблемы статистики энергопотребления в черной металлургии [Текст] / Г.Н. Грецкая, В.Г. Литвиненко, Т.А. Андреева // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 80–82.
2. Назюта, Л.Ю. Анализ структуры потребления топливно-энергетических ресурсов на металлургиче-



- ских предприятиях [Текст] / Л.Ю. Назюта, А.С. Рыбко, А.В. Губанова // Черная металлургия : бюллетень ОАО «Черметинформация». – 2007. – № 1. – С. 3–10.
3. **Грецкая, Г.Н.** Сквозная энергоёмкость продукции: методы расчета и анализа [Текст] / Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева, В.Г. Литвиненко // Металлург. – 2002. – № 11. – С. 32–35.
  4. **Литвиненко, В.Г.** Расход энергоресурсов на производство металлургической продукции [Текст] / В.Г. Литвиненко, Д.В. Сталинский, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // Сталь. – 2005. – № 7. – С. 124–128.
  5. **Сталинский, Д.В.** Зависимость энергоёмкости товарного проката от технологии производства [Текст] / Д.В. Сталинский, В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 103–108.

*Поступила в редакцию 22.11.2007*

Приведено дані щодо зміни питомих витрат енергоресурсів на виробництво товарної продукції. Визначено, що тільки використання показника наскрізної енергоємності може надати об'єктивну інформацію. Аналіз показників наскрізної енергоємності при впровадженні МБЛЗ показує, що чим вища частка спокійних і низьколегованих марок сталей, тим більший ефект від впровадження МБЛЗ.

There is information about change of specific energy consumption for manufacturing commodity rolled products. It was established, that only through energy consumption parameter use can give the objective information. Analysis of through energy consumption parameters during introducing continuous casting machines shows that the higher share of killed and low-alloy steel grades, the more effect from introducing of continuous casting machines.