



УДК 621.77:657.471.76

Д.В. СТАЛИНСКИЙ, д.т.н., генеральный директор, **В.Г. ЛИТВИНЕНКО**, к.т.н., ведущий научный сотрудник,
Г.Н. ГРЕЦКАЯ, к.э.н., начальник отдела, **Т.А. АНДРЕЕВА**, к.э.н., старший научный сотрудник
УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Показано, что полная металлургическая энергоемкость (ПМЭ) различных видов проката определяется их цеховой энергоемкостью, сквозным расходом полуфабрикатов (сталь, чугун, агломерат, кокс, железорудный концентрат и т.д.) и их заводской энергоемкостью. Показано влияние расхода чугуна на выплавку стали и способа ее разлива на ПМЭ проката.

полная металлургическая энергоемкость, прокат, сталь, чугун, топливо, электроэнергия, полуфабрикат, сквозной расход

Энергосбережение – многоаспектная проблема, решение которой не замыкается только на реализации мероприятий по снижению удельных расходов топлива, электро- и теплоэнергии на каждом участке производственного процесса, внедрении современных технологических процессов и использовании менее энергоемкого металлургического и энергетического оборудования.

Для черной металлургии, отличающейся многостадийностью получения конечной продукции, в основном – проката, не менее, а зачастую и более важное значение имеет снижение расхода полуфабрикатов и улучшение их качества, что позволяет в общем итоге снизить расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). С точки зрения всего горно-металлургического комплекса (ГМК) полуфабрикатами следует считать любую продукцию, произведенную на предприятиях ГМК с затратами ТЭР и используемую прямо или косвенно в технологической цепи получения товарной продукции.

Поэтому к полуфабрикатам следует отнести не только железорудный концентрат, окатыши, агломерат, чугун, сталь, но и кокс, коксовую мелочь, коксовый газ (которые одновременно являются и топливом), известняк, известь, изложницы, поддоны, ферросплавы, огнеупоры.

Не менее важное значение имеет и информационное обеспечение проблемы энергосбережения. Для решения этой проблемы необходимо точно знать, сколько сегодня расходуется топлива и энергии на производство конечной продукции, например, проката на каждом металлургическом предприятии с учетом полных затрат ТЭР на изготовление всех необходимых полуфабрикатов. Сегодня наши металлургические комбинаты имеют различную структуру производства: одни имеют коксохимическое и горнорудное производства, другие не имеют; одни обеспечены собственным агломератом полностью,

другие – на 25–50 %; третьи не имеют агломерационного производства вообще; четвертые избыток производимого агломерата продают.

Необходимо отчетливо понимать, как сортамент проката влияет на его сквозную энергоемкость, как каждое изменение технологии отражается на сквозном удельном расходе ТЭР, учитывая при этом не только затраты топлива и покупной энергии, но и производных энергоносителей: сжатого воздуха, кислорода, электроэнергии и пара, технической и химочищенной воды, величину их потерь. Ведь известны случаи, когда изменение расхода ТЭР в одном производстве может вызвать противоположный результат в другом. Например, увеличение степени обогащения железорудного концентрата ведет к росту его энергоемкости, но существенно снижает затраты топлива в агломерационном и доменном производствах, в т.ч. за счет уменьшения расхода извести и известняка.

Замена разлива металла в слитки на непрерывную разливу несколько увеличивает расход топлива в сталеплавильном цехе, но в конечном итоге значительно снижает энергоемкость проката за счет уменьшения расхода жидкой стали на тонну годного листа или сорта.

Здесь и далее под энергоемкостью (d , кг у.т./т) понимается удельный расход условного топлива в приведенном виде: $d = 0,34e + t$, где e – удельный расход электроэнергии, кВт·час/т; t – удельный расход условного топлива, кг у.т./т; 0,34 – коэффициент пересчета затрат электроэнергии в условное топливо, кг у.т./кВт·час.

Энергоемкость продукции может быть прямой (ПЭ), цеховой (ЦЭ), заводской (комбинатовской) (КЭ) и полной металлургической (ПМЭ). Прямая энергоемкость продукции рассчитывается по данным статотчетности и по сути дела дает информацию только о части затрат ТЭР в дан-

ном цехе на изготовление данной продукции, потому что при этом не учитываются затраты производных энергоносителей (кислорода, сжатого воздуха, воды и т.п.), для выработки которых требуются затраты ТЭР. Например, по статотчетности удельный расход электроэнергии на выплавку чугуна составляет 8–23 кВт·час/т, а с учетом расхода производных энергоносителей и их потерь – 125–170 кВт·час/т (электроэнергия, затраченная на выработку «потерянных» энергоносителей, приобретает за такие же деньги, как и остальная электроэнергия, и должна быть отнесена на производство продукции). Статистическая отчетность имеет и другие недостатки [1, 2], которые значительно искажают действительное энергопотребление.

Если учесть прямые удельные затраты топлива и энергии и добавить к ним удельные затраты производных энергоносителей, пересчитанные в эквивалентный расход топлива и энергии, то получится цеховая энергоемкость.

Под сквозной заводской (сквозной по комбинату) энергоемкостью продукции (КЭ) понимается сумма ее ЦЭ и затрат энергоресурсов на изготовление полуфабрикатов на этом же предприятии в количестве, необходимом для производства данной продукции. Сквозная отраслевая (полная металлургическая) энергоемкость (ПМЭ) включает в себя КЭ и затраты ТЭР на производство полуфабрикатов вне металлургического предприятия: производство кокса, ферросплавов, огнеупоров, добыча и обогащение железной руды, производство окатышей или агломерата.

ПМЭ дает возможность проводить корректное сравнение энергоемкости однотипной продукции различных предприятий с учетом различий в структуре их производственных мощностей.

ЦЭ, КЭ и ПМЭ рассчитываются по данным заводских балансов энергоносителей, балансов производства и потребления металлургической продукции. Некоторые авторы [3] считают, что такие расчеты довольно сложны. Однако на самом деле «сложность» заключается в трудоемкости вычислений, и то лишь в том случае, если расчеты проводить вручную без применения ПК. Специалистами УкрГНТЦ «Энергосталь» (г. Харьков) разработана методика расчета сквозной энергоемкости, которая принята в качестве Государственного стандарта Украины [4]. Расчеты на ПК осуществляются по специально разработанной программе [5]. При использовании ПК расчеты (без ввода информации) занимают 2–3 мин.

Сквозная энергоемкость конечной продукции также, как и сквозные расходы покупных материалов (железорудного концентрата, огнеупоров, металлолома, валков и т.п.), покупных энергоресурсов (электроэнергии, при-

родного газа, кокса, мазута и т.п.), трудовых и других ресурсов являются обязательным атрибутом анализа себестоимости металлопродукции в развитых странах, например, Германии. На постсоветском пространстве сквозная энергоемкость проката, чугуна, стали регулярно исследуется только авторами настоящей работы [6, 7, 8, 9, 10], и только в последнее время подобным анализом начали заниматься другие авторы [3, 11].

Энергоемкость основной товарной продукции ГМК – проката – определяется тремя показателями: цеховой энергоемкостью различных видов проката, расходом стали на прокат и сквозной энергоемкостью стали.

Из этих параметров наибольший интерес представляет сквозная энергоемкость стали. Пути снижения энергоемкости стали могут наиболее радикально снизить энергоемкость проката.

В Украине основное количество стали выплавляется в конвертерах, однованных мартеновских печах и в двухванных сталеплавильных агрегатах (ДСПА). Технологически – это три самостоятельных процесса, энергоемкость которых стоит рассматривать отдельно.

Для удобства анализа КЭ и ПМЭ стали можно рассматривать как сумму ЦЭ стали и цеховых энергоносителей полуфабрикатов, умноженных на их сквозной расход на выплавку стали, начиная с железорудного концентрата.

В табл. 1 представлены данные о ПМЭ стали, выплавляемой в условиях металлургических комбинатов: Алчевского (завод А), «Азовсталь» (завод В), «Арселор Миттал Кривой Рог» (завод С) и Енакиевского металлургического завода (завод D). Затраты условного топлива на выплавку стали – это произведение сквозных расходов полуфабрикатов на их цеховую энергоемкость.

ПМЭ и КЭ стали определяется не столько ее ЦЭ, сколько сквозным расходом всех полуфабрикатов (в т.ч. сменного оборудования), прямо или косвенно необходимых для производства стали, а также цеховой энергоемкостью этих полуфабрикатов. Если, например, на выплавку стали расходуется чугун 0,75 т/т, а агломерата собственного производства на выплавку чугуна – 0,8 т/т, то сквозной расход собственного агломерата на выплавку стали будет $0,75 \times 0,8 = 0,6$ т/т.

В сталеплавильных цехах заводов «А», «В», «С» и «D» (табл. 1) на выплавку одной тонны стали расходуется от 0,570 до 0,908 т чугуна с учетом его потерь на миксере. При выплавке стали в однованных печах расход чугуна – наименьший (570–691 кг/т), а при выплавке конвертерной стали – наибольший (874–908 кг/т). Так как на выплавку тонны чугуна расход агломерата (окатышей) является величиной более или менее постоянной, то изменение расхода чугуна на выплавку стали ведет к



Таблица 1 – Влияние энергоёмкости и расхода полуфабрикатов на величину сквозной отраслевой энергоёмкости стали при различных способах ее выплавки

Показатели	Мартеновская сталь (однованные печи)			Мартеновская сталь (ДСПА)		Конвертерная сталь		
	Завод «А»	Завод «В»	Завод «С»	Завод «А»	Завод «С»	Завод «В»	Завод «С»	Завод «Д»
Сквозной расход полуфабрикатов, т/т								
Чугуна	0,6905	0,6442	0,5700	0,7813	0,7600	0,9025	0,8738	0,9079
Агломерата собственного производства	1,2218	0,2984	0,8686	1,3519	1,1181	0,4180	1,3315	0,9007
Окатышей	0,0478	0,9143	0,1255	0,0529	0,1674	1,2055	0,1924	0,7276
Железородного концентрата	1,2442	1,1896	0,9742	1,4048	1,2598	1,6632	1,4927	1,5888
Кокса	0,3950	0,3914	0,3222	0,4373	0,4292	0,5461	0,4934	0,5310
Извести	0,0584	0,0506	0,0149	0,0942	0,0320	0,1143	0,0883	0,0965
Затраты условного топлива на выплавку стали (д, кг у.т./т)								
Выплавка стали (ЦЭ)	118,1	159,9	170,6	60,0	74,7	79,4	63,3	59,9
Производство извести	8,4	5,8	5,7	13,6	11,5	28,0	29,3	29,7
Производство агломерата на заводе	71,0	12,4	69,9	78,6	93,9	17,8	108,2	63,2
Выплавка чугуна	401,0	430,2	346,3	443,6	464,3	611,3	535,5	590,1
Прочие затраты в метпроизводстве	10,5	24,7	35,0	10,7	39,6	13,7	44,8	12,1
Итого КЭ	609,0	669,0	627,5	606,5	684,0	750,2	781,1	755,1
Выжиг кокса	71,1	68,3	56,1	97,8	75,4	98,1	87,1	79,7
Производство железородного концентрата	45,0	41,9	34,5	50,8	46,4	60,0	53,5	57,5
Производство окатышей и агломерата на ГОК	3,4	96,4	14,2	3,7	19,1	138,3	22,0	50,9
Затраты ТЭР в других производствах	32,3	29,9	26,2	32,4	26,6	31,3	26,7	32,3
Всего ПМЭ	760,8	905,5	758,5	772,0	851,5	1077,9	970,4	975,5

адекватному изменению сквозного расхода агломерата или окатышей (1213–1628 кг/т) и железородного концентрата (974–1663 кг/т). Расход кокса (в пересчете на сухой) составляет от 322 до 546 кг/т. При этом учитываются не только затраты скипового кокса, но и расход коксовой мелочи в агломерационном производстве, а также коксика на приготовление «лёточной» массы. Расход извести колеблется в очень широких пределах – от 15 до 114 кг/т.

Если ЦЭ каждого полуфабриката умножить на его сквозной расход, то получим затраты ТЭР на производство каждого полуфабриката в количестве, необходимом для выплавки тонны стали. Сумма затрат ТЭР на производство всех полуфабрикатов плюс ЦЭ стали определяют структуру ее ПМЭ или КЭ [10]. Из данных табл. 1 видно, что ПМЭ и КЭ конвертерной стали значительно выше мартеновской – однованной и ДСПА.

Анализ структуры сквозной энергоёмкости позволяет сделать вывод, что во всей технологической цепи производства стали независимо от способа ее выплавки наиболее энергоёмким производством является выплавка чугуна, предопределяющая 46–58 % всех энергозатрат. Нижняя граница (46–48 %) относится к стали однованных печей, а верхняя (55–58 %) – к конвертерной стали. Именно большой расход чугуна на выплавку стали (873,8–907,9 кг/т) предопределяет и более высокую ПМЭ конвертерной стали по сравнению с мартеновской (однованных

печей и ДСПА). Энергозатраты в мартеновских цехах составляют 15–23 % ПМЭ стали при ее выплавке в однованных печах и 7–9 % – в ДСПА. При конвертерном производстве цеховые затраты ТЭР составляют всего 6–7,5 %, но это не делает конвертерную сталь менее энергоёмкой в силу более высоких затрат ТЭР в доменном, горнорудном и коксохимическом производствах, связанных с повышенным расходом чугуна на выплавку стали. На производство агломерата и окатышей приходится от 8 до 13 % всех сквозных затрат ТЭР. При этом производство агломерата на металлургических заводах обычно требует меньшего расхода энергоресурсов, чем на ГОК, а меньший расход чугуна обуславливает и меньший расход ТЭР за счет производства агломерата и окатышей.

Затраты энергоресурсов в коксохимическом производстве на выжиг кокса и очистку коксового газа составляют 56,1–97,8 кг у.т. в расчете на тонну мартеновской стали и 79,7–98,1 кг у.т. – на тонну конвертерной стали, что составляет 8–10 % ПМЭ. Добыча железной руды, ее обогащение, включая вскрышные работы и разработку «хвостов» – это 35–60 кг у.т./т стали или 4,5–6,5 % общих затрат ТЭР. На прочие работы в металлургическом производстве (транспортные, ремонтные, производство литья и т.п.) расходуется 2–4,5 % от всех ТЭР, а на производство огнеупоров, ферросплавов, добычу известняка, переработку металлолома – 2,5–3,5 %.

Энергоемкость продукции нескольких заводов необходимо сравнивать с учетом особенностей их производства. Например, из данных табл. 1 следует, что КЭ конвертерной стали на заводе «С» (781,1 кг у.т./т) выше, чем на заводах «В» и «D» (750,2 и 755,1 кг у.т./т). Однако на заводе «С» производится 87 % необходимого агломерата, а на заводах «В» и «D» – 25 и 53 %, что требует и меньших затрат ТЭР. Сравнение значений ПМЭ позволяет сделать вывод о том, что именно на заводе «С» конвертерная сталь наименее энергоемкая.

Таким образом, мартеновская сталь, выплавленная в ДСПА при существующем расходе чугуна, является наименее энергоемкой. Сталь однованных печей близка по энергоемкости к стали ДСПА, а конвертерная сталь требует наибольших отраслевых затрат энергоресурсов. Последняя оценка относится только к конвертерной стали при ее разливке в слитки. Внедрение непрерывной разливки стали ведет к росту ее ЦЭ, например, в конвертерном цехе завода «D» на 28,3 кг у.т./т. Однако сквозную энергоемкость КЭ (ПМЭ) литых заготовок необходимо сравнивать со сквозной энергоемкостью КЭ (ПМЭ) катаных заготовок. Этим обеспечивается корректность сопоставления, потому что для литых заготовок отсутствуют не только затраты ТЭР в обжимных цехах, но и потери стали в виде обрезки металла и окалины при получении заготовок из слитков. На заводе «В» ПМЭ заготовок, прокатанных из слитков мартеновской стали, составляет 1076,9 кг у.т./т, что всего на 33,7 кг у.т./т больше, чем у непрерывно-литых заготовок из конвертерной стали того же завода. На заводе «D» ПМЭ литых заготовок ниже энергоемкости катаных заготовок на 166,8 кг у.т./т только за счет сокращения обрезки, в результате чего происходит снижение потребности в чугуне, агломерате, коксе и т.п.

УкрГНТЦ «Энергосталь» создал программный продукт, позволяющий не только рассчитывать на персональном компьютере ЦЭ, КЭ и ПМЭ любого полуфабриката и товарной продукции (сортового и листового проката, литых и катаных заготовок), но и проводить анализ причин изменения энергоемкости продукции в зависимости от изменения энергоемкости производных энергоносителей (вырабатываемых предприятием), величины их потерь, а также удельного расхода энергоносителей, полуфабрикатов и сменного оборудования на каждом переделе. Изменение расхода топлива дается не только в условном выражении, но и в натуральном (кокса, коксовой мелочи, доменного, коксового и природного газа, угля, мазута и т.п.). Это позволяет оценивать экономию или перерасход ТЭР на каждом переделе и в стоимостном выражении.

Анализ структуры энергоемкости стали позволяет энергетически обосновать и приоритетные направле-

ния снижения расхода ТЭР. Уменьшение расхода чугуна на выплавку стали не требует дополнительных инвестиций и является наиболее эффективным способом снижения энергоемкости и стали, и продукции последующих переделов в отличие от непрерывной разливки, для внедрения которой необходимы большие капитальные вложения.

Проведены расчеты ПМЭ стали при расходе чугуна на уровне 1987–1989 гг., когда он составлял около 800 кг/т в конвертерных цехах, около 590 кг/т для однованных печей и 630 кг/т для ДСПА. В условиях заводов «А», «В» и «С» сквозная отраслевая энергоемкость мартеновской стали при этом может быть уменьшена соответственно на 5,3; 4,4 и 6,8 %, а энергоемкость конвертерной стали на заводах «В», «С» и «D» – на 7,9; 6,2 и 7,9 %. В конвертерных цехах снижение расхода чугуна более эффективно, чем в мартеновских. Процент снижения расхода чугуна в однованных печах приводит к уменьшению энергоемкости на 0,72 %, в ДСПА – на 0,8 %, а в конвертерных цехах – на 8,8 %. Рост расхода металлолома не приводит к существенному увеличению расхода ТЭР, так как энергоемкость выплавки чугуна в 100 раз больше энергоемкости переработки лома. Значительное снижение ПМЭ стали может быть достигнуто за счет уменьшения расхода энергоресурсов при производстве окатышей и агломерата на ГОК, при получении кокса и очистке коксового газа.

Существенный резерв экономии ТЭР – это снижение расхода электроэнергии на выработку кислорода и его потерь, уменьшение выработки пара в котельных ТЭЦ за счет использования пара котлов-утилизаторов и систем испарительного охлаждения.

В настоящее время решены далеко не все вопросы информационного обеспечения проблемы энергосбережения (например, вопрос об уменьшении содержания кремнезема в железорудном концентрате). В технической литературе, посвященной энергосбережению, сложно найти данные об изменении энергоемкости концентрата (с учетом добычи железной руды, расходов на ее дробление, транспортных расходов, вскрышных работ) в связи с изменением степени ее обогащения. В коксохимии до сих пор официально все расходы ТЭР относят на товарный кокс (без учета коксовой мелочи), не учитывая, что часть их расходуется на очистку коксового газа, сульфата, бензола, аммиака. Так проще для официальной статистики. Но при этом получается, что производство серной кислоты и коксовой мелочи, например, не требует энергозатрат.

В последнее время очень актуальной темой в черной металлургии стало применение пылеугольного топлива (ПУТ) в доменных печах, причем почему-то эту техноло-



гию связывают с энергосбережением. Экономия дефицитного кокса – это понятно. Но ни в одной публикации нет серьезных данных о том: увеличивается или снижается расход условного топлива в доменных печах, что произойдет при этом с выходом доменного газа и изменением его состава, как добавка ПУТ скажется на изменении расхода электроэнергии, дутья, сжатого воздуха, выработка которых требует также затрат ТЭР. Поэтому требуются еще существенные не только энергетические, но и экономические исследования, которые покажут, является ли использование ПУТ энергосберегающей технологией или нет.

Точно также экономических исследований требует обоснование целесообразности и повышение степени обогащения (и до какой степени) железной руды. Такие исследования важны особенно потому, что горнорудные и металлургические предприятия зачастую принадлежат разным собственникам. Необходимы очень аргументированные основания целесообразности повышения степени обогащения, а следовательно, цены железорудного концентрата.

И все-таки самая важная задача информационного энергосбережения заключается в том, чтобы необходимая информация доходила до собственников, обеспечивающих инжиниринг в черной металлургии. Для этого необходимо избавиться от легковесных, основанных на поверхностной информации публикациях на серьезную тему – энергосбережение.

Расчет сквозной энергоёмкости основных видов продукции отрасли на единой методической основе и регулярный анализ динамики этого показателя будет способствовать проведению политики энергосбережения в черной металлургии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грецкая Г., Жовтянский В., Литвиненко В. Статистика и затраты энергоресурсов // Энергосбережение. – 1999. – № 4. – С. 11–12.

2. Литвиненко В.Г., Жовтянский В.А., Андреева Т.А., Грецкая Г.Н. Особенности статистической отчетности об использовании энергоресурсов в Украине // Энергосбережение. – 2001. – № 11–12. – С. 10–14.
3. Назюта Л.Ю., Рыбко А.С., Губанова А.В. Анализ структуры потребления топливно-энергетических ресурсов на металлургических предприятиях // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2007. – № 1. – С. 3–10.
4. ДСТУ 3740-98. Методы анализа и расчета снижения затрат топлива и энергии на металлургических предприятиях. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 33 с.
5. Компьютерная программа. Сквозная энергоёмкость продукции (КП СЭП): Свидетельство о регистрации авторского права на произведение № 14184. Украина / Т.А. Андреева, В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая (Украина); УкрГНТЦ «Энергосталь» (Украина). Дата регистрации 21.09.2005.
6. Литвиненко В.Г., Майорченко В.Н., Грецкая Г.Н., Андреева Т.А. Определение энергоёмкости металлургической продукции // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1997. – № 4. – С. 90–93.
7. Грецкая Г.Н., Жовтянский В.А., Андреева Т.А., Литвиненко В.Г. Методика расчета экономии энергоресурсов с использованием сквозной энергоёмкости продукции // Энергосбережение. – 2002. – № 3–4. – С. 20–26.
8. Грецкая Г.Н., Андреева Т.А., Литвиненко В.Г. Сквозная энергоёмкость продукции: методы расчета и анализа // Металлург. – 2002. – № 11. – С. 32–35.
9. Грецкая Г.Н., Жовтянский В.А., Литвиненко В.Г., Андреева Т.А. Энергоёмкость проката // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 2. – С. 112–116.
10. Литвиненко В.Г., Сталинский Д.В., Грецкая Г.Н., Андреева Т.А. Расход энергоресурсов на производство металлургической продукции // Сталь. – 2005. – № 7. – С. 124–128.
11. Исаев В.А. Использование материальных и энергетических ресурсов в первом полугодии 2005 г. // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2005. – № 10. – С. 18–21.

Поступила в редакцию 05.04.07.

Показано, що повна металургійна енергоємність (ПМЕ) різних видів прокату визначається їхньою цеховою енергоємністю, наскрізною витратою напівфабрикатів (сталь, чавун, агломерат, кокс, залізрудний концентрат тощо) та їх заводською енергоємністю. Показано вплив витрати чавуну на виплавку сталі та способу її розливу на ПМЕ прокату.

Total metallurgical power consumption (TMPC) of different kinds of metal products is defined by their shop power consumption, through consumption of semi-products (steel, pig-iron, agglomerate, coke, iron-ore concentrate etc.) and their manufacturing power consumption. Influence of pig-iron rate on steel melting and pouring practice on TMPC of metal products is shown.