

УДК 669.012.3:657.471.76

В. Г. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,**В. А. БОТШТЕЙН**, первый заместитель генерального директора,**Т. А. АНДРЕЕВА**, канд. экон. наук, старший научный сотрудник, **Г. Н. ГРЕЦКАЯ**, канд. экон. наук, заведующий отделом УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОКАТА

В статье проанализировано влияние технологических параметров производства проката (например, расходных коэффициентов собственных полуфабрикатов, величины обрезки, способа разлива стали, потерь энергоносителей, сортамента, проката и т. д.) на изменение величины сквозной энергоемкости проката.

сквозная энергоемкость, прокат, топливо, электроэнергия, полуфабрикаты, сортмент проката, производные энергоносители, потери

Выявление наиболее перспективных и эффективных направлений экономии энергоносителей на металлургических предприятиях, оценка эффективности внедрения энергосберегающих технических и технологических мероприятий, определение действительной энергоемкости конечной продукции каждого предприятия, сравнение энергоемкости однотипной продукции различных производителей – эти задачи всегда представляли большой интерес, но приобрели особую актуальность после резкого подорожания одного из наиболее распространенных видов топлива – природного газа. Важно, чтобы эти вопросы и порознь, и вместе решались на единой методической основе, что позволит значительно повысить объективность расчетов и обоснованность принимаемых решений.

В качестве такой единой методической основы может быть принята сквозная энергоемкость, использование которой дает возможность, в частности, исключить недостатки в оценке эффективности использования энергоресурсов, построенной на основе существующей статистической отчетности [1, 2]. Методика расчета и анализа сквозной энергоемкости продукции разработана УкрГНТЦ «Энергосталь» [3, 4].

Сквозные затраты топлива (t , кг у. т./н. е.) и электроэнергии (e , кВт·час/н. е.) на производство конечной (товарной) продукции металлургического предприятия можно представить как сумму цеховых удельных расходов топлива ($t_{ц}$, кг у. т./н. е.) и покупной электроэнергии ($e_{ц}$, кВт·час/н. е.) на изготовление натуральной единицы продукции (н. е.), умноженных на сквозной расход всех n -ых полуфабрикатов (q_n , н. е./н. е.). Тепловая энергия,

используемая металлургическими предприятиями, вырабатывается практически полностью на предприятиях, и ее затраты учитываются в виде расхода топлива и электроэнергии на выработку теплоты.

$$e = \sum q_n e_{ц}, \quad (1)$$

$$t = \sum q_n t_{ц}. \quad (2)$$

Сквозной расходный коэффициент полуфабрикатов собственного производства на изготовление продукции рассчитывается путем перемножения расходных коэффициентов одних полуфабрикатов на изготовление других по технологической цепи производственного процесса. Например, расходный коэффициент агломерата на выплавку чугуна составляет 1,50 т/т, чугуна, на выплавку стали – 0,8 т/т, стали на катаные заготовки – 1,15 т/т, заготовки на производство сортового проката – 1,05 т/т проката. Сквозной расходный коэффициент агломерата на производство сортового проката составит

$$1,5 \times 0,8 \times 1,15 \times 1,05 = 1,449 \text{ т/т}$$

Сквозной расход топлива рассчитывается как в условном топливе (у. т.), так и в натуральном измерении по отдельным видам топлива. Цеховые удельные расходы покупной электроэнергии и топлива – это удельные расходы всех используемых в цехе энергоносителей, пересчитанные в удельный расход покупной электроэнергии и топлива в соответствии с фактическим заводским расходом энергоресурсов на выработку производных энергоносителей (кис-



порода, дутья и т. д.). Под энергоемкостью (d , кг у. т./н. е.) продукции понимают удельный расход условного топлива и покупной электроэнергии, пересчитанные в эквивалентный расход условного топлива по формуле $d = t + 0,34 \cdot e$.

Сквозная энергоемкость может быть заводской и отраслевой. Заводская энергоемкость – сквозные затраты условного топлива, израсходованные заводом для производства продукции. Если к заводской энергоемкости продукции добавить затраты на производство полуфабрикатов, производимых вне металлургического завода (железорудный концентрат, кокс, окатыши, огнеупоры, ферросплавы и т. п.), то получится отраслевая энергоемкость товарной продукции.

Формирование заводской и отраслевой энергоемкости сортового и листового проката на примере Алчевского металлургического комбината (ОАО «АМК») представлено в табл. 1. Для расчета приняты фактические данные за 2004 г. Прямые расходные коэффициенты составили: извести на выплавку стали – 31,6 кг/т; извести на агломерат – 34,6 кг/т; агломерата на выплавку чугуна – 1730,3 кг/т; чугуна на выплавку стали – 734,7 кг/т; слит-

ков стали на слябы – 1218,6 кг/т; слитков на блюмы – 1071,9 кг/т; обрезы в листопрокатных цехах – 215,1 кг/т; в сортопрокатном – 35,9 кг/т.

Анализируя данные табл. 1, можно сделать три вывода. Во-первых, значительно более высокая заводская энергоемкость листового проката (1137 кг у. т./т) по сравнению с сортовым (864,6 кг у. т./т) является следствием не столько больших затрат электроэнергии и топлива в листопрокатных цехах ОАО «АМК» по сравнению с сортопрокатным (на 40,2 кг у. т./т, считая суммарные затраты и топлива, и электроэнергии), сколько различием величины обрезы (0,0359 т/т – в сортопрокатном цехе и 0,2151 т/т – в листопрокатных цехах). Кроме того, сортовой прокат производится в основном из полуспокойной стали (обрезь на блюминге – 0,0719 т на тонну блюмов), а листовой – из спокойной и низколегированной стали (обрезь – 0,2186 т на тонну слябов). В результате совместного влияния этих факторов для изготовления тонны листа требуется 1,4808 т слитков стали, для изготовления тонны сортового проката – всего 1,1103 т слитков стали. Различие в сквозных расходных коэффициен-

Таблица 1. Влияние сквозного расхода полуфабрикатов (q_p) и цеховой энергоемкости их производства (e и t) на сквозную энергоемкость проката ОАО «АМК»

| Полуфабрикаты, продукция | Цеховые затраты ТЭР | | Сквозной расход на сортовой прокат | | | Сквозной расход на листовой прокат | | |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| | электро-энергия e , кВт·час/т | условное топливо t , кг/т | полу-фабрикатов q_p , т/т | электро-энергии e q_p , кВт·час/т | условного топлива t q_p , кг/т | полу-фабрикатов q_p , т/т | электро-энергии e q_p , кВт·час/т | условного топлива t q_p , кг/т |
| Известь | 12,4 | 139,8 | 0,0848 | 1,0 | 11,9 | 0,1132 | 1,4 | 15,8 |
| Агломерат | 32,4 | 47,1 | 1,4414 | 46,7 | 67,9 | 1,9224 | 62,3 | 90,5 |
| Чугун на сталь | 93,7 | 536,0 | 0,8157 | 76,4 | 437,2 | 1,0879 | 101,9 | 583,1 |
| Чугун на литье* | 93,7 | 536,0 | 0,0173 | 1,6 | 9,3 | 0,0231 | 2,2 | 12,4 |
| Сталь | 122,6 | 49,4 | 1,1103 | 136,1 | 54,8 | 1,4808 | 181,5 | 73,2 |
| Блюмы | 24,6 | 39,6 | 1,0359 | 25,5 | 41,0 | - | - | - |
| Слябы | 23,5 | 38,0 | - | - | - | 1,2151 | 28,5 | 46,2 |
| Сортовой прокат | 82,5 | 106,4 | 1,0000 | 82,5 | 106,4 | - | - | - |
| Листовой прокат | 97,5 | 141,5 | - | - | - | 1,0000 | 97,5 | 141,5 |
| Прочие энергозатраты** | | | | 14,0 | 5,5 | | 17,5 | 6,7 |
| ВСЕГО по АМК: | | | | 383,8 | 734,0 | | 492,8 | 969,4 |
| Заводская энергоемкость | | | | 864,5 | | | 1137,0 | |
| Окатыши | 35,0 | 58,0 | 0,0564 | 2,0 | 3,3 | 0,0752 | 2,6 | 4,4 |
| Железорудный концентрат | 100,5 | 2,0 | 1,4678 | 147,5 | 2,9 | 1,9643 | 197,4 | 3,9 |
| Кокс | 35,0 | 168,2 | 0,4665 | 16,3 | 78,5 | 0,6221 | 21,8 | 104,6 |
| Коксовый газ | 60,0 | 71,8 | 0,1769 | 10,6 | 12,7 | 0,0962 | 5,8 | 6,9 |
| Прочие отраслевые энергозатраты*** | 51,0 | 15,0 | | 56,6 | 16,7 | | 75,5 | 22,2 |
| ВСЕГО: | | | | 616,8 | 848,1 | | 795,9 | 1111,4 |
| Отраслевая энергоемкость | | | | 1057,8 | | | 1382,0 | |

* – на отливку изложниц, поддонов, прибыльных подставок, центровых

** – ремонтных, транспортных и других вспомогательных цехов комбината

*** – на производство ферросплавов, огнеупоров, добычу известняка и т. п.

тах стали предопределяет необходимость производства дополнительного количества чугуна, агломерата, извести, железорудного концентрата, кокса, огнеупоров, ферросплавов.

Во-вторых, энергоемкость товарных заготовок (в данном случае блюмов – 706,6 кг у. т./т, слябов – 790,0 кг у. т./т) всегда будет значительно ниже энергоемкости сортового и листового проката (здесь – на 18,3 % и 30,5 %). Такая разница обуславливается не только исключением из технологической цепи производства сорто- и листопрокатных станов, но и тем, что уменьшается производство полуфабрикатов, необходимых для получения тонны заготовок по сравнению с производством тонны сорта в 1,0359 и в 1,2151 раза по сравнению с производством тонны листа.

В-третьих, основные затраты ТЭР (около 54 %) связаны с производством чугуна для выплавки стали. Эти затраты на ОАО «АМК» в 2004 г. составили 76,4 кВт·час и 437,2 кг у. т. при производстве сортового проката; и 101,9 кВт·час и 583,1 кг у. т. при производстве листового проката (табл.1). В самих сорто- и листопрокатных цехах затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) составили только 15,4–15,5 % общезаводских затрат энергоресурсов на производство проката. В мартеновском цехе расходуется 11,7–11,9 % всех ТЭР, на производство агломерата – 9,7–9,8 %, а в обжимном цехе – 4,9–5,4 %. Расход энергоресурсов на производство извести, чугуна и прочие вспомогательные нужды колеблется от 1,1 % до 1,4 % по каждому виду затрат. Отсюда следует приоритетность и значимость решения задачи по уменьшению энергоемкости товарного проката: уменьшение сквозного расхода чугуна на производство проката, снижение энергоемкости выплавки чугуна и стали, снижение энергозатрат в прокатных и агломерационных цехах. Если эту задачу рассматривать в целом по всему ГК, то следует добавить необходимость повышения содержания железа в железорудном концентрате, что позволит снизить расход окатышей и агломерата на чугун. Важным направлением следует считать и уменьшение энергоемкости выжигания кокса, так как на тонну сухого кокса расходуется около 35 кВт·час электроэнергии и 160–170 кг условного топлива (с учетом расхода пара).

На рис. 1 приведена динамика отраслевой энергоемкости производимого в ОАО «АМК» проката в среднем и по его видам (сорт, лист, заготовки). В 1990 г. отраслевая энергоемкость проката в среднем составляла 1278,4 кг у. т./т, в том числе сквозной удельный заводской расход природного газа (рис. 2) – 253,1 м³/т. После резкого увеличения энергоемкости в конце 90-х годов руководство комбината перешло к проведению постоянной политики энергосбережения, в результате которой началось

существенное снижение энергоемкости продукции как в среднем по комбинату, так и по отдельным видам проката. Характерно, что снижение энергоемкости продукции ОАО «АМК» проходило не за счет облегчения сортамента: доля товарных заготовок в общем объеме производства проката (рис. 3) не превышала 5,9 % в отличие от многих других комбинатов; при этом доля листового проката, начиная с 2000 г., все время росла. В 2004 г. доля слябов (47,4 %) впервые превысила долю сортового проката (47,3 %). Как было показано в табл.1, рост доли листового проката ведет к увеличению средней энергоемкости проката. Поэтому тем более весомо достижение в 2004 г. энергоемкости 1207,9 кг у. т./т, что на 70,5 кг у. т./т меньше, чем в 1990 г. Расход природного газа по заводу снизился с 256,7 м³/т в 1990 г. до 195,5 м³/т в 2004 г.

Объективную оценку эффективности использования энергоресурсов на предприятии может дать ретроспективный анализ заводской энергоемкости продукции. Отраслевую энергоемкость в этом случае применять нецелесообразно, так как ее расчет требует значительно большего объема информации. Сравнение энергоемкости продукции (например, проката) разных предприятий следует проводить только на базе отраслевой энергоемкости. Использование для этой цели заводской энергоемкости может исказить картину. Например, Макеевский металлургический комбинат не производит агломерат. «Миттал Стил Кривой Рог» почти полностью обеспечивает себя агломератом и еще дополнительно затрачивает ТЭР на добычу и обогащение железной руды и на выжиг кокса. Поэтому априори заводская энергоемкость проката «Миттал Стил Кривой Рог» будет выше, чем на Макеевском металлургическом комбинате.

Разумеется, все отмеченные выше и другие, не менее важные аспекты проблемы энергосбережения в одной статье рассмотреть невозможно. Поэтому остановимся на ряде основных вопросов по данной тематике.

Для черной металлургии неприемлемо снижение энергоемкости товарного проката любой ценой. Увеличение доли более качественного листового проката, а также доли проката из спокойных углеродистых и низколегированных марок стали при ее разливе в слитки, снижение доли заготовок (катаных и отлитых на МНЛЗ) в общем объеме товарного проката ведет к увеличению его энергоемкости. Однако это одновременно ведет и к росту цены на более качественный прокат. Поэтому производство более качественного проката потребует проведения дополнительных мероприятий для предотвращения роста его энергоемкости.

Наиболее эффективным мероприятием по уменьшению сквозных затрат ТЭР на производство проката является снижение расхода чугуна на выплавку ста-



ли. Рост расходного коэффициента чугуна после 1990 г. явился одной из причин увеличения энергоемкости проката в целом по Украине. Например, в ОАО «АМК» в 1990 г. расход чугуна составлял 537,8 кг/т; в 1998 г. он возрос до 695 кг/т в связи с усиленным вывозом металлолома за рубеж, а в 2004 г. на выплавку стали расходовалось уже 734,7 кг/т. Таким образом, расход чугуна увеличился на 196,9 кг/т. За последние 12–14 лет расход чугуна на выплавку конвертерной стали на «Миттал Стيل Кривой Рог» увеличился на 80 кг/т, на «Азовстали» – на 110 кг/т, на Енакиевском металлургическом заводе – на 75 кг/т.

Проведенные авторами расчеты показали, что снижение удельного расхода чугуна на выплавку стали в среднем по отрасли на 10 % позволяет уменьшить заводскую энергоемкость проката на 5,5–5,7 % или на 64–75 кг у. т./т. Если в ОАО «АМК» в 2004 г. расход чугуна для однованных печей уменьшился бы с 690,5 до 600,5 кг/т, а для двухванных печей (ДСПА) – с 765,8 до 715,0 кг/т, и 60 % всей стали выплавлялось в печах ДСПА, то сквозная отраслевая энергоемкость проката снизилась бы на 70,2 кг у. т./т даже с учетом дополнительного расхода ТЭР на подготовку увеличенного количества металлолома (вместо чугуна) и на его нагрев в мартеновских печах. Снижение же энергоемкости проката будет достигнуто за счет того, что на производство одной тонны проката требуется меньше: чугуна – на 85,9 кг, агломерата – на 148,5 кг/т, железорудного концентрата – на 145,6 кг/т и кокса – на 48,9 кг/т, точнее – затрат ТЭР на производство 48,9 кг кокса.

Как показали расчеты, снижение цеховой энергоемкости чугуна на 10 % ведет к уменьшению затрат ТЭР на производство проката на 54–63 кг у. т./т, что составляет 4,6–4,7 % его заводской энергоемкости и 3,9–4,0 % его отраслевой энергоемкости. Несколько меньший эффект может быть достигнут за счет снижения цеховой энергоемкости выплавки мартеновской стали – 1,0–2,7 % (9,1–35,0 кг у. т./т) в зависимости от состава сталеплавильных агрегатов. В конвертерных цехах ввиду незначительных цеховых затрат ТЭР (65–75 кг у. т./т)

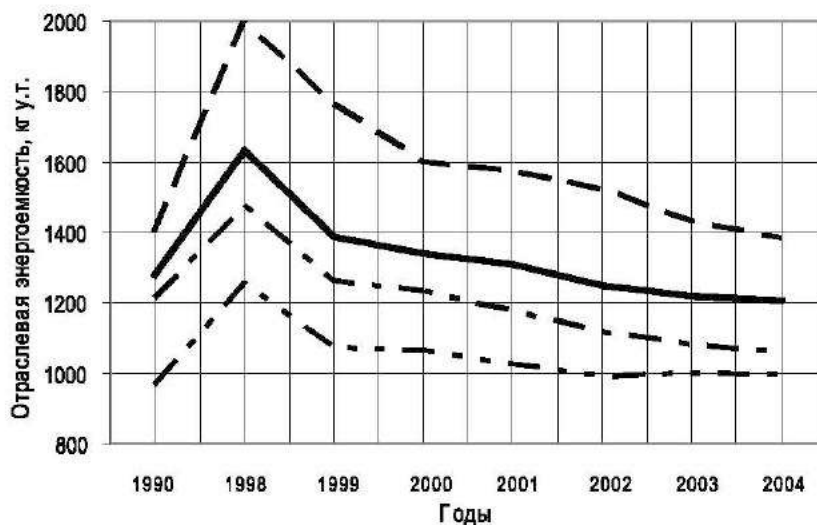


Рис. 1. Динамика энергоемкости проката на ОАО «АМК»

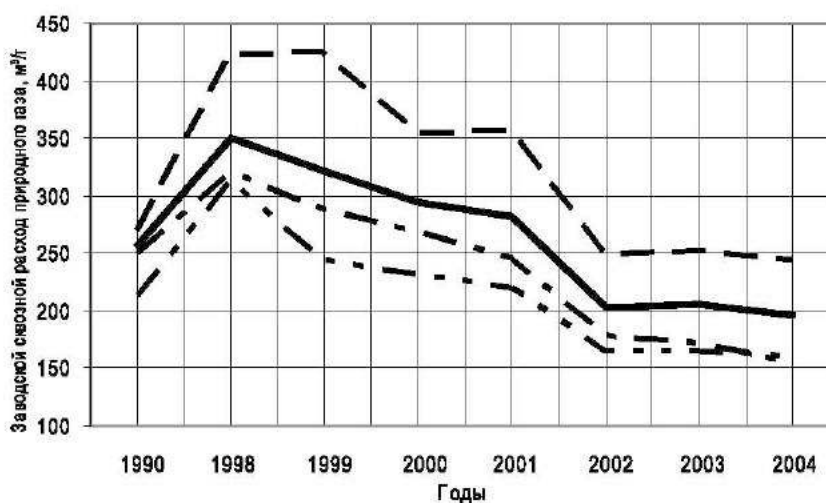


Рис. 2. Сквозной заводской удельный расход природного газа на ОАО «АМК»

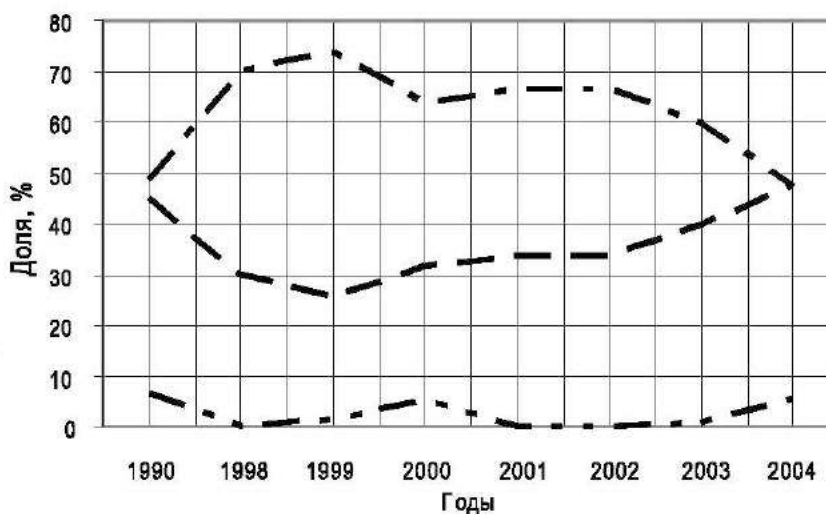


Рис. 3. Доля (%) видов проката в общем объеме проката на ОАО «АМК»

Условные обозначения:

- по прокату в среднем по комбинату;
- - - по листовому прокату;
- · - по сортовому прокату;
- · - по заготовкам.

сложно получить снижение расхода топлива и электроэнергии, заметно влияющее на энергоемкость проката. Производство извести требует существенных затрат энергоресурсов (см. табл. 1), однако небольшой ее расход на выплавку стали и производство агломерата также не оказывает существенного влияния на энергоемкость конечной продукции металлургического предприятия. Снижение энергоемкости производства агломерата на 10 % позволяет уменьшить заводскую энергоемкость проката на 8,4–11 кг у. т./т вследствие его большего сквозного расхода на тонну проката. Так, в ОАО «АМК» для производства тонны сортового проката необходимо 1,4414 т агломерата, а для производства листового проката – 1,9224 т.

Уменьшение цеховых затрат ТЭР в прокатном цехе обеспечивает снижение заводской энергоемкости проката на 13–17 кг у. т./т или 1,5–2,0 %.

Таким образом, наиболее значительная экономия ТЭР может быть достигнута в доменном производстве.

В табл. 2 приведена динамика изменения цеховой энергоемкости чугуна в доменном цехе ОАО «АМК» за 1990–2004 гг. В 1990 г. цеховая энергоемкость чугуна со-

ставляла 580 кг у. т./т, в том числе расход электроэнергии – 135,5 кВт·час/т и топлива – 533,9 кг у. т./т. Расход топлива и электроэнергии дан с учетом расхода дутья, пара, химочищенной и технической воды, кислорода, сжатого воздуха. К 1998 г. цеховая энергоемкость чугуна возросла в 1,4 раза, затем постепенно начала снижаться и к 2004 г. достигла уровня 1990 г. Особенно значительно (в 2004 г. по сравнению с 1990 г.) уменьшился цеховой удельный расход электроэнергии, получаемой со стороны, – в 1,31 раза. Удельный расход топлива в 2004 г. (536 кг у. т./т) практически достиг уровня 1990 г. (533,9 кг у. т./т). Меньший темп снижения расхода топлива по сравнению с темпом снижения расхода электроэнергии, явился следствием двух причин. Во-первых, расход сухого скипового кокса в 2004 г. (492,5 кг/т) еще не достиг уровня 1990 г. (469 кг/т). Во-вторых, в 2004 г. удельный расход топлива на выработку дутья (57,6 кг у. т./т) значительно превышал его энергоемкость в 1990 г. (31,7 кг у. т./т).

В табл. 3 показана динамика затрат энергоресурсов на выработку основных видов производных энергоносителей: теплоэнергии, кислорода, дутья. Расход электроэнергии на выработку кислорода дан с учетом его потерь

Таблица 2. Динамика цеховой энергоемкости чугуна, стали и проката

| Продукция, удельные расходы энергоносителей | Единица измерения | 1990 г. | 1998 г. | 1999 г. | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. |
|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Чугун переделный | | | | | | | | | |
| Удельный расход покупной электроэнергии | кВт·час/т | 135,5 | 145,6 | 108,6 | 107,4 | 117,2 | 97,4 | 89,9 | 93,7 |
| условного топлива | кг у. т./т | 533,9 | 759,5 | 664,6 | 618,6 | 598,1 | 571,8 | 545,0 | 536,0 |
| в том числе: кокса | кг/т | 469,0 | 602,2 | 554,5 | 542,1 | 529,9 | 533,0 | 504,9 | 492,5 |
| природного газа | м³/т | 133,9 | 228,9 | 177,8 | 158,0 | 152,4 | 105,0 | 103,5 | 95,3 |
| природного газа непосредственно – в цехе | м³/т | 118,0 | 90,3 | 91,2 | 90,9 | 91,9 | 85,0 | 96,9 | 91,0 |
| Цеховая энергоемкость | кг у. т./т | 580,0 | 809,0 | 701,2 | 655,2 | 637,9 | 604,9 | 575,6 | 567,9 |
| Сталь | | | | | | | | | |
| Удельный расход покупной электроэнергии | кВт·час/т | 118,6 | 221,5 | 199,3 | 163,6 | 175,3 | 148,3 | 138,7 | 122,6 |
| условного топлива | кг у. т./т | 119,0 | 105,5 | 86,5 | 85,4 | 83,0 | 61,7 | 56,6 | 49,4 |
| в том числе: природного газа | м³/т | 81,0 | 83,7 | 69,0 | 67,3 | 65,7 | 48,8 | 45,3 | 40,2 |
| природного газа непосредственно – в цехе | м³/т | 79,4 | 75,4 | 64,2 | 64,9 | 63,7 | 48,5 | 45,4 | 40,2 |
| Цеховая энергоемкость | кг у. т./т | 159,3 | 180,8 | 154,3 | 141,0 | 142,6 | 112,1 | 103,8 | 91,1 |
| Доля стали, выплавленной в однованных печах | % | 72,3 | 52,4 | 48,0 | 40,7 | 39,0 | 37,8 | 39,3 | 42,2 |
| Сортовой прокат | | | | | | | | | |
| Удельный расход покупной электроэнергии | кВт·час/т | 71,7 | 87,2 | 74,2 | 75,7 | 77,9 | 70,5 | 73,3 | 82,5 |
| условного топлива | кг у. т./т | 147,5 | 136,6 | 124,3 | 126,9 | 119,4 | 97,5 | 101,4 | 106,4 |
| в том числе: природного газа | м³/т | 26,3 | 56,6 | 33,7 | 29,7 | 27,4 | 17,0 | 15,3 | 8,5 |
| природного газа непосредственно – в цехе | м³/т | 24,1 | 50,8 | 30,0 | 27,7 | 25,5 | 16,7 | 15,2 | 8,4 |
| Цеховая энергоемкость | кг у. т./т | 171,9 | 166,2 | 149,5 | 152,6 | 145,9 | 121,3 | 126,3 | 134,4 |
| Листовой прокат | | | | | | | | | |
| Удельный расход покупной электроэнергии | кВт·час/т | 101,4 | 218,3 | 196,3 | 156,5 | 153,8 | 143,6 | 113,6 | 97,5 |
| условного топлива | кг у. т./т | 156,2 | 230,5 | 220,7 | 159,6 | 152,6 | 136,8 | 139,2 | 141,5 |
| в том числе: природного газа | м³/т | 9,0 | 114,7 | 121,5 | 69,9 | 64,6 | 31,7 | 44,2 | 48,9 |
| природного газа непосредственно – в цехе | м³/т | 6,0 | 99,2 | 109,3 | 64,0 | 60,0 | 31,0 | 44,0 | 48,9 |
| Цеховая энергоемкость | кг у. т./т | 190,7 | 304,7 | 287,4 | 212,8 | 204,9 | 185,6 | 177,8 | 174,6 |



в атмосфере, то есть в пересчете на количество использованного кислорода.

В 1990 г. производительность агрегатов кислородного цеха была увязана с потребностью кислорода в доменном и мартеновском цехах. Поэтому потери кислорода были минимальными (2,4 %). Резкое падение выплавки стали и, особенно, чугуна при наличии тех же блоков разделения воздуха привело к резкому увеличению потерь кислорода, которые до 2002 г. составили 26–35 %. В 2003–2004 гг. увеличение выплавки чугуна и стали обусловило и снижение потерь кислорода (14,5–20 %), и уменьшение затрат электроэнергии на его выработку.

Если бы в 2004 г. потери кислорода составили 2,4 %, как в 1990 г., то его электроемкость (766 кВт·час/тыс. м³) была бы не намного выше, чем в 1990 г. Согласование производительности металлургических агрегатов и производительности кислородных блоков, а еще лучше – установка блоков с регулируемой производительностью может дать большую экономию покупной электроэнергии, так как кислородные цеха – это самые крупные потребители электроэнергии на металлургических предприятиях.

В 2004 г. расход топлива и электроэнергии, получаемой со стороны, на выработку пара ТЭЦ (199,0 кг у. т./Гкал и 37,8 кВт·час/Гкал) оставался существенно большим, чем в 1990 г. Незначительный расход покупной электроэнергии в 1990 г. (5,6 кВт·час/Гкал) имел место потому, что ТЭЦ вырабатывала собственную электроэнергию, затраты которой учитывались в расходе условного топлива на выработку пара. В 1998–2003 гг. энергоцеха использовали только покупную электроэнергию, а в 2004 г. выработка

электроэнергии на ТЭЦ ОАО «АМК» возобновилась в незначительном количестве. Этим объясняется относительно большой расход электроэнергии, получаемой со стороны, на выработку пара (37,8–62,2 кВт·час/Гкал). Расход топлива в 2004 г. (199 кг у. т./т) также не снизился до уровня 1990 г. (172 кг у. т./т). Следует отметить существенную особенность: в последние три года началось резкое уменьшение расхода природного газа: до 43,8 м³/Гкал – в 2002 г., 17,9 м³/Гкал – в 2003 г., 7,8 м³/Гкал – в 2004 г. Известно, что замена природного газа доменным ведет к некоторому росту расхода условного топлива, поэтому темпы снижения энергоемкости пара уменьшились, а энергоемкость дутья даже увеличилась. В то же время расход природного газа на выработку дутья резко снизился, м³/тыс. м³: 2000 г. – 18,8; 2002 г. – 7,0; 2004 г. – 2,5. Уменьшение расхода природного газа на выработку пара и дутья обусловили (табл. 2) и значительное уменьшение его цехового расхода на выплавку чугуна с 228,9 м³/т в 1998 г. до 95,3 м³/т в 2004 г. (в 1990 г. – 133,9 м³/т).

Несмотря на высокую энергоемкость пара ТЭЦ энергоемкость пара, распределяемого теплосиловым цехом (ТЦ) технологическим цехам ОАО «АМК», значительно меньше – 25,9 кг у. т./Гкал в 2004 г. Для сравнения отметим, что на комбинате «Криворожсталь» в 2003 г. энергоемкость пара ТЭЦ составила 220,2 кг у. т./Гкал, энергоемкость пара ТЦ – 171,9 кг у. т./Гкал; на Енакиевском металлургическом заводе (ЕМЗ) в 2003 г. энергоемкость пара ТЭЦ – 208,0 кг у. т./Гкал, а пара, распределяемого по заводу – 177,9 кг у. т./Гкал. Низкая энергоемкость пара ТЦ ОАО «АМК» обусловлена более эффективным использованием вторичного пара. Так, в 2004 г. в общем

Таблица 3. Динамика расхода электроэнергии и топлива с учетом потерь на выработку производных энергоносителей

| Производные энергоносители, энергозатраты | Единица измерения | 1990 г. | 1998 г. | 1999 г. | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. |
|---|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Кислород | | | | | | | | | |
| Электроэнергия со стороны | кВт·час/тыс. м ³ | 742,0 | 1269,0 | 1394,0 | 1257,0 | 1136,0 | 1200,0 | 1017,0 | 874,0 |
| Условное топливо | кг/тыс. м ³ | 0,9 | 6,6 | 5,3 | 4,0 | 2,9 | 1,1 | 0,4 | 0,2 |
| Потери | % | 2,4 | 32,5 | 35,1 | 30,2 | 26,5 | 33,4 | 19,9 | 14,5 |
| ПАР ТЭЦ | | | | | | | | | |
| Электроэнергия со стороны | кВт·час/Гкал | 5,6 | 50,4 | 53,1 | 52,9 | 51,2 | 62,2 | 56,7 | 37,8 |
| Условное топливо | кг/Гкал | 172,0 | 272,0 | 293,0 | 275,0 | 250,0 | 245,0 | 254,0 | 199,0 |
| в том числе природный газ | м ³ /Гкал | 40,9 | 154,0 | 150,0 | 123,0 | 117,0 | 43,8 | 17,9 | 7,8 |
| Дутье | | | | | | | | | |
| Электроэнергия со стороны | кВт·час/тыс. м ³ | 3,3 | 11,8 | 10,9 | 10,4 | 10,6 | 11,0 | 14,9 | 14,5 |
| Условное топливо | кг/тыс. м ³ | 31,7 | 59,2 | 45,7 | 42,3 | 38,6 | 39,2 | 51,9 | 57,6 |
| в том числе природный газ | м ³ /тыс. м ³ | 7,5 | 33,5 | 23,3 | 18,8 | 17,8 | 7,0 | 3,6 | 2,5 |
| Теплоэнергия ТЦ | | | | | | | | | |
| Электроэнергия со стороны | кВт·час/Гкал | 11,9 | 38,8 | 37,2 | 34,4 | 33,4 | 26,8 | 24,1 | 23,2 |
| Условное топливо | кг/Гкал | 126,2 | 145,1 | 114,2 | 116,4 | 101,9 | 44,6 | 26,4 | 18,0 |
| Доля пара ТЭЦ в общих затратах | % | 21,4 | 47,5 | 43,8 | 38,3 | 37,0 | 17,0 | 9,3 | 8,1 |

объеме пара ТЭС доля пара ТЭЦ составляла 8,1 %, доля значительно менее энергоемкого (14,6 кг у. т./Гкал) пара от котлов-утилизаторов – 50,8 %, доля пара от систем испарительного охлаждения, выработка которого не сопряжена с расходом ТЭР – 41,1 %.

Приведенные примеры показывают, насколько существенно влияние энергоемкости производных энергоносителей на цеховую, а следовательно, и заводскую энергоемкость продукции.

Цеховая энергоемкость сортового проката даже в 1998–2000 гг. (табл. 2) была несколько меньше, чем в 1990 г. (171,9 кг у. т./т) из-за существенного упрощения сортамента проката. Некоторый рост его энергоемкости в 2003 г. и 2004 г. связан с наметившейся тенденцией снижения объемов производства. В листопрокатных цехах уровень энергоемкости проката 1990 г. (190,7 кг у. т./т) достигнут только в 2002 г. Высокая энергоемкость всего проката в 1998–1999 гг. – это следствие резкого снижения объемов производства проката в ОАО «АМК», несмотря на снижение доли листового проката в общем объеме производства (рис. 3). Характерно, что в 1990 г. расход природного газа в листопрокатных цехах (табл. 2) составлял всего 6 м³/т, так как основным топливом был коксовый газ. С 1998 г. Алчевский коксохимзавод перестал поставлять ОАО «АМК» необходимое количество коксового газа, и его пришлось заменить природным, расход которого увеличился до 109,3 м³/т. В 2004 г. расход природного газа снизился до 48,9 м³/т в связи с восстановившимися поставками коксового газа.

Цеховая энергоемкость (табл. 2) мартеновской стали в 2004 г. (91,1 кг у. т./т) снизилась в 2 раза по сравнению с 1998 г. (180,8 кг у. т./т) и в 1,75 раза по сравнению с 1990 г. (159,3 кг у. т./т), а цеховой расход природного газа снизился соответственно в 1,9 и 2,0 раза. Такое резкое уменьшение цеховой энергоемкости стали даже по сравнению с 1990 г. связано, прежде всего, с изменением технологии ее выплавки. В 1990 г. в однованных печах выплавлялось 72,3 % всей стали, а в ДСПА – 27,7 %; в 1998 г. соответственно 52,4 % и 47,6 %. В 1996 г. в ОАО «АМК» был введен в действие прямоточный сталеплавильный агрегат (ПСА), и в 2000 г. выплавка стали в однованных печах, ДСПА и ПСА соответственно составила 40,7 %, 36,6 % и 22,7 %, а в 2004 г. – 42,2 %, 36,9 % и 20,9 %. В 2004 г. удельный расход топлива на выплавку стали в однованных печах, ДСПА и ПСА составлял 80,0 кг у. т./т; 16,5 кг у. т./т и 45,2 кг у. т./т, а покупной электроэнергии – 112,2 кВт·час/т; 128,2 кВт·час/т и 135,3 кВт·час/т. Поэтому изменение соотношений объемов производства стали в разных агрегатах оказывает существенное влияние на изменение энергоемкости мартеновской стали.

Однако использование цеховой энергоемкости стали для оценки экономичности ее выплавки в разных агрегатах методически неверно, потому что однованные печи и ДСПА с ПСА расходуют различное количество чугуна – наиболее энергоемкого полуфабриката. Поэтому для оценки следует использовать заводскую или отраслевую энергоемкость стали. В 2004 г. в ОАО «АМК» для выплавки стали расходовали чугуна (с учетом потерь): в однованных печах – 690,5 кг/т, в ДСПА – 765,8 кг/т, в ПСА – 769,2 кг/т. Сквозная заводская энергоемкость стали составила: для однованных печей – 609,0 кг у. т./т (в том числе природного газа – 150 м³/т), для ДСПА – 598,9 кг у. т./т (102, м³/т), для ПСА – 634,5 кг у. т./т (130,5 м³/т). Отраслевая энергоемкость проката ОАО «АМК», полученного из стали однованных печей, составляет 1215,3 кг у. т./т, из стали ДСПА – 1213,7 кг у. т./т, из стали ПСА – 1260,6 кг у. т./т. Очевидно, что разница в заводской энергоемкости стали однованных печей и ДСПА практически нивелируется при расчете отраслевой энергоемкости проката из стали этих способов выплавки, прежде всего, за счет дополнительных затрат ТЭР на производство кокса и коксовой мелочи для спекания агломерата. Энергоемкость проката из стали ПСА значительно больше, чем из стали, выплавленной в других типах мартеновских печей.

С увеличением расходного коэффициента чугуна заводская и, тем более, отраслевая энергоемкость стали ДСПА будет увеличиваться в большей мере, чем стали, выплавленной в однованных печах. Например, на «Криворожстали» в 2002 г. расход чугуна на выплавку стали в однованных печах составил 554 кг/т, а в ДСПА – 744,4 кг/т. Соответственно, сквозная заводская энергоемкость однованных печей была равна 620,9 кг у. т./т, а ДСПА – 670,9 кг у. т./т. При этом сравнение заводской энергоемкости стали ОАО «АМК» и комбината «Криворожсталь» является неправомерным, так как в состав комбината «Криворожсталь» входит коксохимзавод, карьеры, обогатительные комбинаты (железной руды).

С этих же позиций следует подходить и к оценке энергоемкости производства конвертерной и мартеновской стали. При незначительной цеховой энергоемкости конвертерной стали комбината «Криворожсталь» (61,3 кг у. т./т) высокий удельный расход чугуна на ее выплавку (852,4 кг/т) обуславливает значительно более высокую заводскую энергоемкость конвертерной стали (758,9 кг у. т./т).

Массовый вывод из производства мартеновских цехов в большинстве развитых стран объясняется тремя факторами. Во-первых, загруженность производственных мощностей на металлургических предприятиях в этих странах составляет 80–90 % из-за неравномерности заказов на производство проката. В таких условиях конвертеры легко выводить из работы



на какой-то период времени, а мартеновские печи необходимо держать на «дежурном газе», что увеличивает себестоимость и энергоемкость стали, выплавляемой в мартеновских цехах. Во-вторых, мартеновские печи очень ремонтоемки. При высокой стоимости труда ремонтного персонала сокращение объемов ремонтных услуг при отказе от использования мартеновских печей и переходе к использованию только конвертеров существенно снижает издержки производства по статье «текущий ремонт». В-третьих, работа конвертеров хорошо согласуется с работой МНЛЗ, тогда как длительность плавки однованных мартеновских печей может колебаться в пределах ± 40 мин и по технологическим причинам, и из-за старения печей.

Способствовала снижению энергоемкости производства конвертерной стали в зарубежных странах и хорошая обеспеченность металлоломом, в том числе импортным, и мероприятия по подогреву лома перед загрузкой в конвертер, что дает возможность увеличить расходный коэффициент лома в металлошихте конвертерной стали.

Внедрение непрерывной разливки стали резко снижает энергоемкость проката по сравнению с разливкой стали в слитки вследствие уменьшения величины отходов металла в 6–7 раз. За счет этого возможна экономия энергоресурсов при производстве проката на 120–150 кг у. т./т или 10–14 %. Например, на Енакиевском металлургическом заводе сквозная отраслевая энергоемкость товарных заготовок при разливке стали на МНЛЗ (1038,0 кг у. т./т) по сравнению с разливкой в слитки (1204,8 кг у. т./т) снизилась на 13,8 %.

Замена мартеновских цехов на конвертерные требует существенных инвестиций и времени. Поэтому возможно паллиативное решение: внедрение в мартеновских цехах непрерывной разливки стали при условии переоборудования однованных печей в ДСПА, как, например, в ОАО «АМК».

Следует отметить, что снижение величины обрезки металла при внедрении МНЛЗ может дать значительный эффект только в случае обеспечения заводов металлоломом. В противном случае может увеличиться расходный коэффициент чугуна, так как обрезь металла при прокатке слитков в обжимных цехах используется в качестве металлошихты. Рост же расходного коэффициента чугуна нивелирует преимущества непрерывной разливки стали.

У статті проаналізовано вплив технологічних параметрів виробництва прокату (наприклад, витратних коефіцієнтів власних напівфабрикатів, величини обрізі, способу розливу сталі, втрати енергоносіїв, сортаменту, прокату тощо) на зміну величини наскрізної енергоємності прокату.

ВЫВОДЫ

Разработанная УкрГНТЦ «Энергосталь» методика анализа энергозатрат на базе сквозной энергоемкости дает возможность объективно и с большой точностью оценить влияние изменения различных технологических параметров на изменение удельных расходов топлива и энергии при производстве различных видов продукции. Анализ сквозной энергоемкости продукции позволяет определять наиболее эффективные пути снижения отраслевых затрат энергоресурсов, оценивать влияние сортамента проката на его энергоемкость. Показано, что ретроспективное изменение удельных расходов ТЭР на одном предприятии можно объективно оценить только при сравнении заводской энергоемкости однотипных видов продукции. Для сравнения эффективности использования энергоресурсов при производстве однотипных видов продукции различными предприятиями (например, проката) следует использовать отраслевую энергоемкость, которая позволяет ставить эти предприятия в равные условия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буторина И. В., Харлашин П. С., Суценко А. В. Пути снижения энергоемкости металлургических процессов на предприятиях Украины // Сталь. – 2003. – № 7. – С. 97–100.
2. Грецкая Г. Н., Литвиненко В. Г., Андреева Т. А. Проблемы статистики энергопотребления в черной металлургии // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 80–82.
3. Методика нормирования сквозных заводских удельных расходов топливно-энергетических ресурсов для предприятий горно-металлургического комплекса // Методика / Министерство промышленной политики – Киев, 1998. – 20 с.
4. Грецкая Г. Н., Андреева Т. А., Литвиненко В. Г. Сквозная энергоемкость продукции: методы расчета и анализа // Металлург. – 2002. – № 11. – С. 32–35.

Поступила в редакцию 31.01.06

Influence of manufacturing parameters of rolled products (for example, consumption factors of own semi-finished products, cutting size, steel teeming practice, energy carriers' losses, products range etc.) on through power consumption change of rolled products is analyzed in the article.