

СТАЛИНСКИЙ Д.В., докт. техн. наук, генеральный директор,
ПЕРЕТЯТЬКО Р.А., мл. научн. сотр.,
АНДРЕЕВА Т.А., канд. эконом. наук, старший научн. сотр.
УкрГНТЦ «Энергосталь», Харьков

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОКАТА

Рассмотрен способ оценки энергоэффективности металлургического производства на основе методики расчета сквозной энергоемкости проката. Проанализирована цеховая, заводская и отраслевая энергоемкость разных видов проката на металлургических предприятиях Украины. Показано влияние изменения расходных коэффициентов основных видов полуфабрикатов (железорудного концентрата, чугуна, кокса, извести), энергоемкости производных энергоносителей и марочного состава выплавляемой стали на энергоемкость проката.

Розглянуто спосіб оцінки енергоефективності металургійного виробництва на основі методики розрахунку наскрізної енергоемності прокату. Проаналізовано цехову, заводську і галузеву енергоемність різних видів прокату на металургійних підприємствах України. Показано вплив зміни витратних коефіцієнтів основних видів напівфабрикатів (залізорудного концентрату, чавуну, коксу, вапна), енергоемності похідних енергоносіїв та марочного складу виплавленої сталі на енергоемність прокату.

Method of energy efficiency estimation for metallurgical production on basis of calculation procedure for through power intensity of rolling is considered. Shop, plant and branch power intensity for different types of rolling at metallurgical enterprises of Ukraine is analysed. Influence of discharge coefficient change for main type of half-finished products (iron-ore concentrate, cast iron, coke, lime), power intensity of derived energy carriers and grade composition of smelted steel on power intensity of rolling is shown.

В «Государственной программе развития и реформирования горно-металлургического комплекса на период до 2011 г.» отмечается, что одной из основных задач, стоящих перед ГМК, является резкое снижение энергоемкости проката.

В процессе практической реализации этой задачи возникает несколько вопросов:

– как и по какой методике рассчитывать энергоемкость проката и какова отраслевая энергоемкость проката в настоящее время;

– как производить оценку изменения энергоемкости проката в целом по отрасли и по каждому предприятию в отдельности;

– как сопоставлять энергоемкость проката разных предприятий;

– в чем причина значительного отличия средней энергоемкости проката разных предприятий;

– как количественно оценивать влияние технологии производства полуфабрикатов и конечной продукции во всех переделах и отраслях ГМК на энергоемкость проката.

Ответы на эти вопросы не являются простыми и однозначными, и современная статотчетность не дает ответа на вопрос, какое количество топлива и энергии для получения одной тонны проката должна израсходовать отрасль.

Единственным известным инструментом, позволяющим проводить такие расчеты, является «Методика расчета затрат ТЭР с использованием сквозной энергоемкости» (далее «Методика»), утвержденная Минпромполитики и Госкомэнергосбережения [1].

При расчете отраслевой энергоемкости по «Методике» учитываются затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на добычу и обогащение железной руды, производство агломерата, окатышей и огнеупоров, на выжиг кокса и очистку коксового газа, выплавку чугуна, стали, ферросплавов и производство собственно проката, литья на собственные потребности, а также на оказание ремонтных, транспортных и прочих услуг.

Под энергоемкостью продукции (d , кг у.т./т) понимается удельный расход топлива в приведенном виде, т.е. $d = 0,34 \cdot e + t$, где e – удельный расход электроэнергии со стороны, кВт·ч/т; t – удельный расход топлива, кг у.т./т. Следует отметить, что в сквозную энергоемкость продукции металлургических предприятий не включены затраты теплоэнергии, так как последняя вырабатывается самими металлургическими предприятиями и ее расход учтен в виде топлива и электроэнергии со стороны.

Важная особенность «Методики» состоит в том, что в ней устранена ошибка статотчетности (форма № 11-МТП), которая в расход условного топлива на металлургических предприятиях включает затраты топлива и в виде кокса, как будто он полностью сгорает в доменных печах, и в виде доменного газа – продукта неполного сгорания кокса. Такое пренебрежение законом сохранения энергии приводит к тому, что «статистические» затраты топлива на металлургических заводах по сравнению с действительными завышены на 20–22 % [2].

Цеховая, заводская и отраслевая энергоемкость проката четырех металлургических предприятий приведена в табл. 1.

Цеховая энергоемкость проката – это удельный расход всех энергоносителей в прокатном цехе, пересчитанный в расход покупной электроэнергии и условного топлива (табл. 2). Цеховые затраты составляют от 5 до 14 % общеотраслевых затрат ТЭР, поэтому они могут использоваться только для оценки работы собственно прокатных цехов. Если судить об уровне использования ТЭР на каждом предприятии по величине средней заводской энергоемкости проката, включающей затраты ТЭР на изготовление полуфабрикатов на предприятии, то может сложиться превратное мнение о том, что наиболее рационально расходуются энергоресурсы на ПАО «МК «Азовсталь» (далее «Азовсталь») – 975,4 кг у.т./т и на ПАО «Енакиевский металлургический завод» (далее ЕМЗ) – 1024,4 кг у.т./т, а хуже всего – на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (далее АМК) – 1099,8 кг у.т./т. Однако детальный анализ энергозатрат приводит к другим выводам.

Таблица 1 – Сквозной цеховой (d_c), заводской (d_z) и отраслевой (d_o) удельный расход условного топлива в приведенном виде* (кг у.т./т) на производство проката

Завод, вид проката	Энергоемкость, кг у.т./т		
	d_c	d_z	d_o
ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (АМК)			
Сорт	145,9	1025,9	1220,7
Лист	204,9	1246,6	1474,3
Катаная заготовка	57,8	847,7	1036,0
В среднем**	165,6	1099,8	1305,6
ПАО «МК «Азовсталь»			
Сорт	175,7	1040,3	1382,4
Лист	257,0	1165,9	1560,2
Литая заготовка	79,4	750,3	1076,8
В среднем**	165,0	975,4	1308,2
ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР)			
Сорт	104,4	1045,0	1254,9
Катаная заготовка	56,1	905,9	1108,7
В среднем**	98,9	1028,9	1237,9
ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ)			
Сорт	204,7	1241,4	1539,7
Катаная заготовка	65,0	958,9	1238,1
В среднем**	97,6	1024,4	1308,1

* d – удельный расход условного топлива плюс 0,34 от удельного расхода покупной электроэнергии

** – средняя величина энергоемкости посчитана по фактическим объемам производства товарной продукции

Таблица 2 – Цеховая энергоемкость (d_c , кг у.т./т) производства полуфабрикатов и готовой продукции на металлургических заводах

Полуфабрикаты, продукция	АМК	«Азовсталь»	АМКР	ЕМЗ
Известь	143,6	254,9	315,8	327,2
Агломерат	62,1	42,9	82,9	73,8
Чугун передельный	637,9	678,2	624,7	672,4
Сталь мартеновская	142,6	195,3	103,4	-
Сталь конверторная	-	79,4*	64,9	64,2
Катаные заготовки	57,8	64,5	56,1	65,0

* – для непрерывно-литых заготовок

На «Азовстали» производится только 25 % необходимого количества агломерата, а на «ЕМЗ» – около половины, остальная же часть агломерата или окатышей приобретается на стороне, без затрат ТЭР, в то время как металлургические предприятия АМК и ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР) обеспечены собственным агломератом полностью или почти полностью.

Учитывая вышеизложенное, сопоставление энергоемкости проката по заводской энергоемкости неправомерно. Заводская энергоемкость – это инструмент для оценки динамики расхода ТЭР на товарную продукцию на одном и том же предприятии. Если необходимо сравнить энергоемкость проката различных предприятий, то следует использовать отраслевую энергоемкость – по этому показателю средняя энергоемкость проката на АМК, «Азовстали» и ЕМЗ

практически одинаковая (1306-1308 кг у.т./т), а на АМКР – существенно меньшая (1238 кг у.т./т).

Металлургические предприятия производят четыре основные группы товарного проката – лист, сорт, катаные заготовки и непрерывно-литые заготовки, которые статотчетностью относятся к прокату только в том случае, когда для завода они являются товарными. Каждая из групп имеет различную энергоемкость из-за различий в технологии производства и в величине технологической обрезки.

Сквозной расходный коэффициент от стали к готовому прокату составляет для катаных заготовок ~ 1,122–1,146 т/т (АМК, АМКР и ЕМЗ), для листового проката: из слитков – 1,406 т/т (АМК), из непрерывно-литых заготовок – 1,205 т/т («Азовсталь»).

Влияние расходного коэффициента стали наглядно демонстрирует пример АМК, где технология выплавки стали для всех видов проката одинакова, сквозная же отраслевая энергоемкость листа ($d = 1474,3$ кг у.т./т) в 1,21 раза больше, чем энергоемкость сорта ($d = 1220,7$ кг у.т./т). Аналогичная картина и на «Азовстали», где энергоемкость сорта ($d = 1382,4$ кг у.т./т) меньше энергоемкости листового проката ($d = 1560,2$ кг у.т./т) на 13 %; одну треть всего готового проката составляют литые заготовки, отраслевая энергоемкость которых ($d = 1076,8$ кг у.т./т) на 45 % меньше отраслевой энергоемкости листового проката и на 28 % меньше энергоемкости сортового проката. И это не только потому, что непрерывно-литые заготовки не требуют дополнительных затрат ТЭР в прокатных цехах, но и потому, что на тонну литой заготовки расходуется меньше стали, чугуна и других полуфабрикатов по сравнению с листовым или сортовым прокатом (табл. 3) из-за различной величины обрезки. По этим же причинам энергоемкость катаных заготовок меньше энергоемкости сортового или листового проката. Так, на АМКР и ЕМЗ энергоемкость катаных заготовок меньше энергоемкости сортового проката соответственно на 13,2 и 24,4 %.

Таблица 3 - Сквозной удельный расход полуфабрикатов (q, т/т) на производство различных видов товарного проката

Полуфабрикаты	АМК			«Азовсталь»			АМКР		ЕМЗ	
	на заготовки катаные	на сортовой прокат	на листовой прокат	на сортовой прокат	на заготовки литые	на листовой прокат	на заготовки катаные	на сортовой прокат	на заготовки катаные	на сортовой прокат
Железорудный концентрат	1,3748	1,4174	1,6809	1,3680	1,6590	1,9988	1,5686	1,6323	1,7100	1,8388
Агломерат собственный	1,3490	1,3908	1,6495	0,3445	0,4167	0,5021	1,3968	1,4453	0,9302	1,0003
Покупные агломерат и окатыши	0,0538	0,0555	0,0657	1,5014	1,2762	1,5375	0,2172	0,2247	0,8146	0,8760
Кокс и коксовая мелочь	0,5938	0,6123	0,7261	0,4503	0,5447	0,6562	0,5162	0,5341	0,4826	0,5190
Известь	0,0773	0,0797	0,0945	0,0669	0,1146	0,1381	0,0964	0,0988	0,1048	0,1127
Чугун	0,7793	0,8035	0,9529	0,7461	0,9024	1,0872	0,9165	0,9483	0,9874	1,0619
Сталь (слитки)	1,1498	1,1854	1,4059	1,1871	-	1,2048*	1,1287	1,1679	1,1218	1,2064
Заготовки катаные	-	1,0310	1,2227	1,0470	-	-	-	1,0347	-	1,0754

* - непрерывно-литые заготовки

Если проводить сравнение по отраслевой энергоемкости сортового проката, то наименее энергоемкое производство (табл. 1) будет на АМК ($d = 1220,7$ кг у.т./т), а наиболее энергоемкий прокат – на ЕМЗ ($d = 1539,7$ кг у.т./т).

Средняя энергоемкость проката зависит от соотношения объемов производства его различных видов. На ЕМЗ относительно невысокая средняя энергоемкость проката ($d = 1308,1$ кг у.т./т) получена за счет того, что в общем объеме готового проката доля заготовок составляет около 70 %.

Рассматривая вопрос о средней энергоемкости проката, следует отметить «оригинальный» подход официальной статотчетности к определению удельного расхода топлива и энергии на его производство: суммарные по всем прокатным цехам затраты топлива и энергии делятся на объем производства проката по предприятию, включая товарную литую заготовку, но без соответствующих ей затрат ТЭР в сталеплавильном цехе. И чем больше доля литой заготовки в общей массе проката, тем меньше будет его энергоемкость. Если бы, например, на каком-либо заводе перестали работать все прокатные станы и всю непрерывно-литую заготовку стали считать товарной, то оказалось бы, что энергоемкость такого проката равна нулю.

Рассматривая вопрос о действительных причинах влияния разных факторов на энергоемкость проката, следует отметить влияние сортамента разливаемой в слитки стали. Увеличение доли спокойной стали за счет полуспокойной и кипящей ведет к увеличению обреза слитков и, как следствие, к росту расходных коэффициентов всех полуфабрикатов, необходимых во всей цепи производства от руды до чугуна. Количественное влияние этого фактора демонстрирует пример АМК, где доля прокатываемых в обжимном цехе слябов и блюмсов из спокойной углеродистой и низколегированной стали составляет 40,7 %, а из полуспокойной – 59,3 %. Расчеты показали, что если бы для слябов и блюмсов доля производства из полуспокойной стали снизилась до 31 %, то отраслевая энергоемкость сортового проката возросла бы до 1269,1 (на 4,0 %), а листового – до 1516,5 кг у.т./т (на 2,8 %).

Следует подчеркнуть, что способ выплавки стали оказывает значительное влияние на энергоемкость проката.

Отраслевую сквозную энергоемкость можно рассматривать как цеховую энергоемкость проката и сумму произведений сквозного удельного расхода всех используемых полуфабрикатов на их цеховую энергоемкость. Под полуфабрикатами можно понимать также и сменное оборудование, ремонтные, транспортные и прочие услуги. В табл. 2 приведены показатели цеховой энергоемкости основных полуфабрикатов для каждого завода, а в табл. 3 – их сквозной отраслевой расход на производство различных видов проката.

Цеховая энергоемкость сортового проката (табл. 1) колеблется в пределах 104,4–204,7 кг у.т./т и составляет 8,3–13,3 % его отраслевой энергоемкости. Для листового проката энергоемкость значительно выше (204,9–257,0 кг у.т./т или 13,9–16,5 %), а для катаных заготовок – всего 56,1–65,0 кг у.т./т или 5,1–5,6 % всех отраслевых затрат ТЭР. Различия в цеховой энергоемкости в некоторой мере

определяют и различия в величине отраслевой энергоемкости проката. В прокатных цехах «Азовстали» затраты ТЭР для литой заготовки отсутствуют. Ее цеховой энергоемкостью является энергоемкость производства стали в конверторных цехах, где учтены затраты ТЭР на непрерывную разливку.

Если удельный расход полуфабриката q умножить на его цеховую энергоемкость d_c , то полученная величина $q \cdot d_c$ будет отражать затраты ТЭР на производство этого полуфабриката в общей величине отраслевых затрат при производстве проката. Из всех видов полуфабрикатов наибольшее влияние на отраслевую энергоемкость проката оказывает чугун, цеховая энергоемкость (табл. 2) и расход (табл. 3) которого обуславливают 41–56 % всех отраслевых затрат ТЭР. При производстве сорта затраты ТЭР на выплавку чугуна будут составлять от 506,0 кг у.т./т («Азовсталь», мартеновская сталь) до 714,1 кг у.т./т (ЕМЗ, конверторная сталь). Для катаных заготовок эти затраты меньше на 20–50 кг у.т./т, а для листового проката – больше на 90–125 кг у.т./т.

Так как удельный расход железорудного сырья на выплавку чугуна для всех заводов является величиной относительно постоянной, то и расход окатышей и агломерата на производство различных видов проката подчиняется тем же закономерностям. Затраты ТЭР на подготовку железорудного сырья колеблются в пределах от 90 до 109,5 кг у.т./т или 7,4–8,7 % всех затрат ТЭР (АМК) до 156–188 кг у.т./т или 12,1–14,5 % («Азовсталь»). Такое различие является следствием того, что АМК для выплавки чугуна использует в основном агломерат собственной фабрики, тогда как другие – покупные агломерат и окатыши (на 45–75 %). Окатыши и агломерат, полученный в условиях горно-обогажительных комбинатов, имеют обычно более высокую энергоемкость, что и предопределяет большие затраты ТЭР для подготовки шихты доменных печей для заводов «Азовсталь» и ЕМЗ по сравнению с АМК.

Затраты ТЭР в коксохимическом производстве на выжиг кокса (~ 35 кВт·ч и 168 кг у.т./т) и очистку коксового газа (~ 57 кВт·ч и 74 кг у.т. на тыс. м³) составляют от 7 до 10 % всех отраслевых затрат ТЭР. На тонну сортового проката приходится 81–100 кг у.т., расходуемых на коксохимических заводах, а на тонну листа – на 20–25 кг у.т. больше. Колебания в расходе ТЭР – это следствие не только разницы в расходе скипового кокса в доменных печах, но и различия в потреблении также коксовой мелочи в агломерационных цехах, коксового газа на разных заводах. На тонну сортового проката и катаных заготовок расходуется 520–610 кг кокса и коксовой мелочи, а на производство листа – на 18–20 % больше.

В зависимости от марочного состава выплавляемой стали удельный расходный коэффициент на производство сортового проката составляет 1,168–1,206 т/т, для листового проката (АМК) – 1,406 т/т и литых заготовок («Азовсталь») – 1,2 т/т; для катаных заготовок – 1,212–1,50 т/т. Затраты ТЭР в производстве мартеновской стали составляют от 163 до 232 кг у.т. на тонну проката (14–16,8 %), а в конверторных цехах – 71,0–87,8 кг у.т./т (5,0–7,7 %). Повышенные затраты ТЭР на выплавку стали в мартеновских цехах полностью компенсируются более низким расходом чугуна [3].

Расход извести на тонну проката колеблется в широких пределах (67–138 кг/т) – табл. 3. Затраты энергоресурсов на производство извести составляют от 8,4 до 41 кг у.т. (0,6–3,2 %) вследствие больших колебаний в энергоемкости извести – от 143,6 кг у.т./т для мартеновской стали на АМК до 327,2 кг у.т./т для конверторной стали на ЕМЗ (табл. 2).

Влияние способа выплавки стали на ее энергоемкость, а также некоторые пути снижения последней подробно изложены в статьях [1, 4].

В дополнение следует отметить еще два фактора. Первый касается энергозатрат на выработку производных энергоносителей. На производство тонны проката каждый металлургический завод с учетом бытовых нужд расходует 140–230 Мкал тепловой энергии собственной выработки и 140–210 м³ кислорода.

Выработка 1 Гкал пара на ТЭЦ-ПВС обходится АМК в 267 кг у.т., металлургическим предприятиям «Азовсталь», АМКР, ЕМЗ – в 180–198 кг у.т. Однако на АМК в общем количестве теплоэнергии доля пара, выработанного на ТЭЦ, составляет 37 %. Остальной пар поступает от котлов-утилизаторов или систем испарительного охлаждения, требующих или меньших затрат ТЭР или не требующих их вообще. В результате средняя по заводу энергоемкость пара – 107 кг у.т./Гкал. На других заводах доля пара ТЭЦ в его общем потреблении колеблется от 46 до 90 %, а средняя по заводу энергоемкость пара составляет от 111 до 184 кг у.т./Гкал. Это подтверждает важность использования вторичных энергоресурсов, поскольку затраты ТЭР на выработку пара на металлургических заводах составляют 1,3–7,3 % отраслевой энергоемкости проката.

Еще более важной задачей является и уменьшение расхода ТЭР на выработку кислорода, который из расчета на тонну проката составляет 65–90 кг у.т. или 5,0–7,3 % отраслевого расхода ТЭР. Энергоемкость выработки кислорода колеблется в пределах от 287,8 кг у.т./тыс.м³ (АМК) до 387 кг у.т./тыс.м³ (ЕМЗ), что само по себе представляет поле деятельности в области энергосбережения. Однако еще большие возможности заложены в снижении потерь кислорода, которые составляют от 11 % («Азовсталь») до 40 % (АМК и ЕМЗ), в результате чего фактическая энергоемкость потребляемого кислорода на металлургических предприятиях АМК, «Азовсталь», АМКР и ЕМЗ – соответственно 402; 373; 427 и 534 кг у.т./тыс.м³. Вообще некоторые потери кислорода неизбежны вследствие его неравномерного потребления в доменных и сталеплавильных цехах. Однако основная часть потерь – это несоответствие производительности блоков разделения воздуха и потребности в кислороде на заводах. Смена парка кислородного оборудования – это дорогостоящее мероприятие, но выбрасывание кислорода (а фактически – электроэнергии) в воздух обходится заводам ежегодно также в миллионы гривен.

Выводы

Отраслевая сквозная энергоемкость проката позволяет объективно оценивать затраты энергоресурсов на производство товарной продукции и эффективность внедрения мероприятий по энергосбережению в черной металлургии. Сквозная энергоемкость дает возможность регулярно анализировать

причины изменения удельных затрат ТЭР на изготовление продукции различных предприятий и проводить объективный сопоставительный анализ. Отраслевая сквозная энергоемкость позволяет оценить возможные изменения затрат энергоресурсов в связи с увеличением объема производства листовой стали и роста доли более качественной спокойной углеродистой и низколегированной стали в общем объеме ее выплавки.

Список литературы: 1. Приказ № 9/120. Методика расчета затрат ТЭР на металлургических предприятиях с использованием заводской (сквозной) энергоемкости. – К. : Государственный Комитет Украины по энергосбережению, 1997. – 36 с. 2. Литвиненко В.Г. Методика оценки изменения энергоемкости продукции в черной металлургии / В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // Сталь. – 2003. – № 1. – С. 103–106. 3. Андреева Т.А. Энергоемкость стали / Т.А. Андреева, В.Д. Мантула, Г.Н. Грецкая, В.Г. Литвиненко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 110–112. 4. Буторина И.В. Пути снижения энергоемкости металлургических процессов на предприятиях Украины / И.В. Буторина, П.С. Харлашин, А.В. Суценко // Сталь. – 2003. – № 7. – С. 97–101.

УДК 621.771

ГОРОБЕЙ Н.Р., студ. НТУ «ХПИ»

ПЛЕШНЕЦОВ Ю.А., канд. техн. наук, зав. кафедрой ОМД, НТУ «ХПИ»

КОВОРТНЫЙ Т.Л., асс., НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ БИЧЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ

В работе установлено, что возможности воздействия на величину вытяжки и шага ребер прокатываемого профиля путем изменения обжатия (при том же инструменте и без увеличения размера исходной заготовки) ограничены. Регулировка шага на прокате может быть достигнута изменением диаметра зубчатого бандажа. Установлено, что отношение катающих радиусов валков, образующих чистовой калибр, должно удовлетворять неравенству $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$.

У роботі встановлено, що можливості впливу на величину витяжки та кроку ребер профілю, що прокатується, шляхом зміни обтиску (притому ж інструменті і без збільшення розміру вихідної заготовки) обмежені. Регулювання кроку на прокаті може бути досягнута зміною діаметра зубчастого бандажа. Встановлено, що ставлення катаючих радіусів валків, що утворюють чистовий калібр, має задовольняти нерівності $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$.

We found that the magnitude of possible impact on the hood and the step edges of the proc-Pipeline profile by changing the compression (with the same instrument, and no increase in time is a measure of the original piece) is limited. Adjust the pitch in the rental can be achieved by changing the diameter of the toothed band. The ratio of the radii of the rollers forming finishing caliber, must satisfy the inequality $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$.