

УДК 621.771:62-784.2**В.Г. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,**Т.А. АНДРЕЕВА**, канд. экон. наук, старший научный сотрудник,**А.А. СЛИСАРЕНКО**, заведующий лабораторией, **А.Л. КАНЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

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

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ШАРОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПАО «ЕМЗ»

Проведена оценка энергоэффективности проекта по организации шаропрокатного производства в ПАО «Енакиевский металлургический завод» на основе расчета сквозной отраслевой энергоемкости. Осуществлен прогноз выбросов диоксида углерода при производстве шаров на этом предприятии.

Ключевые слова: энергоэффективность, шаропрокатное производство, сквозная отраслевая энергоемкость, сквозной расходный коэффициент полуфабрикатов, выбросы, диоксид углерода.

Государственными строительными нормами Украины [1] предусмотрена оценка энергоэффективности проектных решений еще на стадии разработки проектной документации. Однако эта рекомендация не носит обязательного характера. Кроме того, отсутствует механизм проведения такой оценки, т.е. неясно, эффективность чего и как именно должна определяться при разработке ТЭО и утверждаемой части рабочих проектов. Более того, работники экспертизы, дающие внешнюю оценку качества проекта, не готовы сделать квалифицированный прогноз энергоэффективности проектных решений. Поэтому оценка энергосбережения в проекте обычно сводится к общим фразам об использовании современных технологий, позволяющих снизить расход ТЭР, при этом никаких конкретных данных не приводится.

С нашей точки зрения, оценивать энергоэффективность следует по двум параметрам – по изменению удельных затрат топлива и энергии на производство конечной продукции предприятия и по изменению потребностей в энергоресурсах на отопление, освещение, вентиляцию зданий и сооружений, а также на санитарно-бытовые нужды, причем наличие оценки по второму параметру не должно исключать проведения оценки по первому, потому что производственное потребление, особенно в черной металлургии, на порядок выше.

Энергоэффективность должна определяться только на основе сравнения сквозной энергоемкости продукции [2, 3] в результате введения в эксплуатацию проектируемого объекта с ее сквозной энергоемкостью по существующей технологии, а для новых видов

производства – с энергоемкостью продукции, произведенной по существующим передовым технологиям.

Отрицательный энергоэффект допускается только тогда, когда в проектах предусматривается коренное улучшение экологии производства. В этих случаях сравнение энергоемкости продукции должно проводиться без учета энергозатрат на систему очистки водного и воздушного бассейнов.

Возможно, в проектах должна оцениваться и величина эмиссии в атмосферу диоксида углерода. Хотя влияние антропогенной деятельности в части роста эмиссии парниковых газов не бесспорно, не исключено, что этот параметр будет учитываться при экспорте украинской металлпродукции в страны ЕС [4]. Дебатируемым является вопрос: какая сквозная энергоемкость продукции должна оцениваться в проектах – заводская или отраслевая, т.е. полная металлургическая (ПМЭ)? Дело в том, что производственная структура металлургических предприятий горно-металлургического комплекса (ГМК) неодинакова: одни предприятия состоят из сталеплавильного и прокатного производств, в состав других входят практически все металлургические переделы – от добычи железной руды и выжига кокса до прокатных цехов.

Заводская сквозная энергоемкость представляет собой явные энергозатраты каждого предприятия. Но часто решения, принимаемые одним заводом, затрагивают вопросы энергопотребления во всем ГМК. Известно, например, что если на мини-заводе, состоящем из электросталеплавильного и прокатного цехов, увеличивается расход чугуна как компонента металлошихты, то затраты элект-



троэнергии на выплавку стали снижаются. Однако затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на выплавку этого чугуна, а также на производство агломерата и кокса, добычу и обогащение железной руды значительно превосходят экономию в сталеплавильном цехе. Следует иметь в виду, что такое добавочное количество ТЭР потребляется сталеплавильным производством только в скрытом виде, а именно: стоимость этих ресурсов заложена в стоимость чугуна. Таким образом, ПМЭ является более точным показателем изменения затрат ТЭР.

Если какие-то переделы на предприятии отсутствуют, то для расчета ПМЭ можно брать усредненные по отрасли цеховые расходы ТЭР, причем для унификации расчетов, выполняемых различными проектными институтами, желательно использовать одинаковые значения.

Энергоэффективность основных технических решений проекта установки шаропрокатного стана (ШПС) в Макеевском филиале ПАО «ЕМЗ» оценивалась путем сравнения сквозных отраслевых энергозатрат [5] производства катаных шаров по двум технологиям – заложенной в проекте (рис. 1а) и применяемой в ПАО «МК «Азовсталь» (рис. 1б).

Под сквозными отраслевыми энергозатратами понимается удельный расход покупной электроэнергии и условного топлива на производство конечной продукции, который включает:

- цеховую энергоемкость продукции, т.е. затраты ТЭР на изготовление конечной продукции в производящем ее цехе с учетом заводских затрат на выработку производных энергоносителей в виде теплоты (пара, горячей воды), кислорода, сжатого воздуха и т.д.;
- цеховые энергозатраты на производство предприятиями ГМК полуфабрикатов, используемых для изготовления конечной продукции на всех переделах технологического процесса (от добычи железной руды и выжига кокса) в количестве, пропорциональном сквозному расходу каждого полуфабриката на производство конечной продукции.

Сквозной расход полуфабриката на конечную продукцию рассчитывали следующим образом. Если, например, на производство сортового проката расходуется 1,04 т/т катаных блюмов, на производство блюмов – 1,15 т/т слитков стали, на производство стали – 0,9 т/т чугуна, то сквозной расход чугуна на производство сортового проката составит $1,04 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 1,0764$ т/т.

Аналогичным образом рассчитывали и величину удельной отраслевой эмиссии диоксида углерода, сопровождающей производство как конечной продукции, так и полуфабрикатов. Для сравнения в качестве базового варианта рассматривалась технология производства шаров в условиях ПАО «МК «Азовсталь» – основного производи-

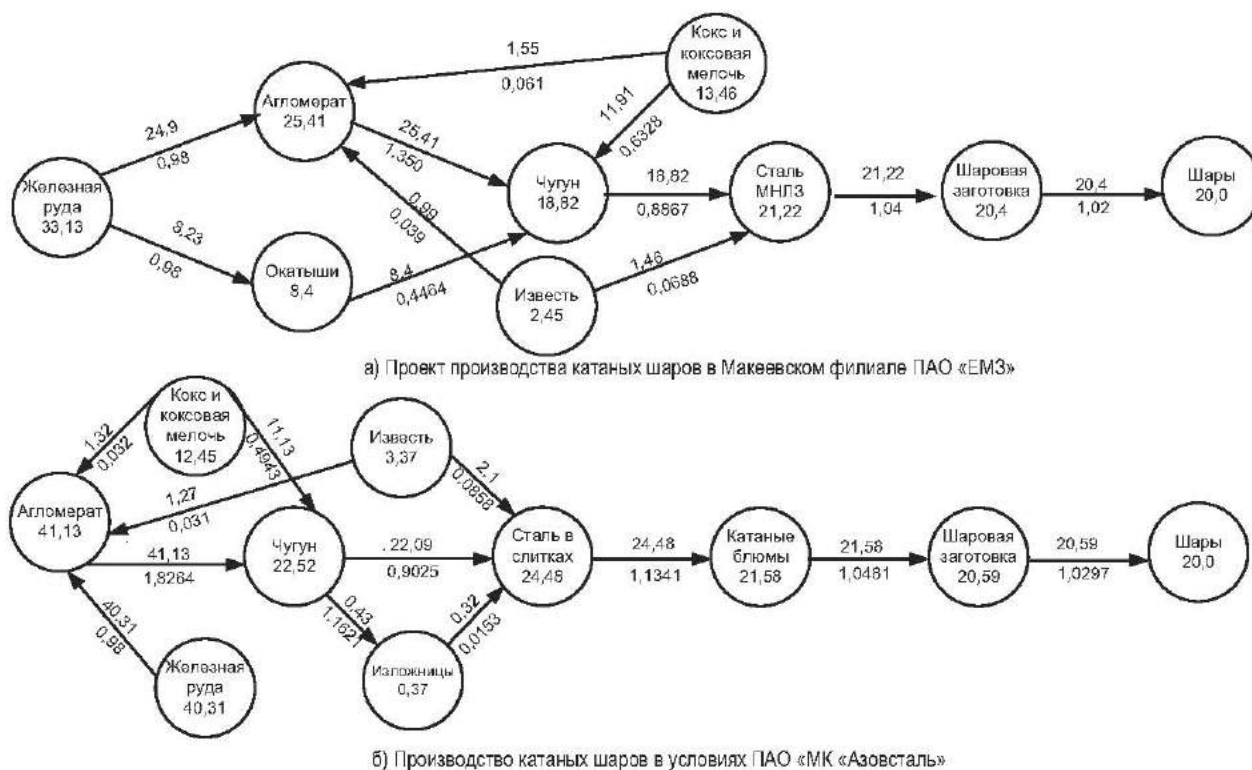


Рисунок 1 – Укрупненная схема производства катаных шаров

(условные обозначения: цифры под стрелкой – расходные коэффициенты полуфабрикатов, т/т; цифры над стрелкой – расход полуфабрикатов, тыс. т)

теля указанной продукции в Украине. В настоящее время на этом предприятии катаные шары производят по следующей технологии (рис. 1б). Сталь выплавляется в конвертерном цехе и разливается в слитки, которые обжимаются на блюминге. Катаные блюмы подаются в крупноролный прокатный цех (КПЦ) на стан 650, где производится подкат для шаропркатного цеха. Изложницы и поддоны для разлики стали отливаются в чугунолитейном цехе. Подкат нагревается в рекуперативных печах.

В соответствии с проектом (рис. 1а) сталь для производства шаров будет выплавляться в конвертерном цехе ПАО «ЕМЗ» и разливаться на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Литые заготовки (блюмы) будут подаваться на стан 390 Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ», где будет производиться подкат. Проектом предусмотрены установка индукционной печи для нагрева подката и регламентированный отпуск шаров (после закалки в специальной электропечи) для повышения их качества.

При определении сквозных отраслевых энергозатрат на производство шаров и коэффициентов эмиссии диоксида углерода принимали фактические цеховые энергоемкости производства чугуна, стали, извести обоих предприятий, расходные коэффициенты полуфабрикатов производства катаных блюмов, сортового проката в КПЦ, шаров и изложниц комбината ПАО «МК «Азовсталь» и проектные данные по расходу металла и цеховым затратам ТЭР для станов 390 и ШПС Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ». В качестве цеховых затрат на производство

окатышей и кокса, а также добычу и обогащение железной руды принимали их среднеотраслевые значения.

Удельные отраслевые затраты ТЭР (698,4 кВт·час/т и 1430,2 кг у.т./т) на выпуск шаров в условиях ПАО «МК «Азовсталь» приведены в табл. 1. Данное производство сопровождается выбросами в атмосферу 3,8879 т диоксида углерода в пересчете на тонну шаров.

Сквозной отраслевой расход электроэнергии на производство шаров по технологии, предусмотренной проектом (табл. 2), составит 1255,7 кВт·час/т, а топлива – 927,6 кг у.т./т. Коэффициент эмиссии диоксида углерода будет равен 2,0377 т CO₂/т. Таким образом, проектная сквозная отраслевая энергоемкость производства шаров d составит 1411,0 кг у.т./т ($d = 0,385 \cdot e + t$, где 0,385 – расход топлива на выработку электроэнергии, кг у.т./кВт·час), что на 288,1 кг у.т./т меньше энергоемкости их изготовления в условиях ПАО «МК «Азовсталь» (1699,1 кг у.т./т).

При производстве 20 тыс. т шаров в год экономия топлива может достигнуть $(1430,2 - 927,6) \cdot 20 = 10052$ т у.т. при дополнительном расходе покупной энергии $(1255,7 - 698,4) \cdot 20 = 11146$ тыс. кВт·час. Таким образом, общая годовая экономия ТЭР (по сравнению с базовым вариантом) составит 5761 т у.т.

Меньшая энергоемкость производства шаров по проектируемой технологии по сравнению с энергоемкостью их производства в условиях ПАО «МК «Азовсталь» обусловлена влиянием следующих основных факторов.

Таблица 1 – Расчет удельных отраслевых затрат покупной электроэнергии (e , кВт·час/т), условного топлива (t , кг у.т./т) и выбросов диоксида углерода (w , т CO₂/т) при производстве катаных шаров в условиях ПАО «МК «Азовсталь»

Продукция, полуфабрикаты	Сквозной расходный коэффициент, q_c , т/т	Удельные расходы (выбросы)					
		цеховые			заводские		
		e_c , кВт·час/т	t , кг у.т./т	w , т CO ₂ /т	e_z , кВт·час/т	t , кг у.т./т	w , т CO ₂ /т
Катаные шары	1,0000	57,1	166,3	0,5668	57,1	166,3	0,5668
Подкат ст. 650	1,0297	61,4	129,7	0,5770	63,2	133,6	0,5941
Катаные блюмы	1,0792	23,5	56,4	0,1516	25,4	60,9	0,1636
Сталь (слитки ККЦ)	1,2239	115,7	43,1	0,1737	141,6	52,8	0,2126
Изложницы	0,0187	165,7	233,1	0,2599	3,1	4,4	0,0049
Известь на сталь	0,1050	71,7	271,9	1,1620	7,5	28,5	0,1220
Чугун	1,1265*	74,2	641,0	0,8102	83,6	722,1	0,9127
Пар ТЭЦ	1,1265	–	–	0,7159	–	–	0,8065
Агломерат	2,0574	32,8	50,2	0,1164	67,5	103,2	0,2395
Известь на агломерат	0,0638	27,1	116,5	0,8200	1,7	7,4	0,0523
Прочие заводские	–	–	–	–	23,3	42,1	0,0271
Кокс на чугун	0,5568	35,0	168,2	0,1849	19,5	93,7	0,1029
Кокс на агломерат	0,0658	35,0	168,2	0,1849	2,3	11,1	0,0122
Железорудный концентрат	2,0162	100,5	2,0	0,0350	202,6	4,0	0,0706
Итого					698,4	1430,2	3,8879
Отраслевая энергоемкость		1699,1					

* В т.ч. расход чугуна на выплавку стали – 1,046 т/т, на изготовление изложниц – 0,021 т/т.



Таблица 2 – Расчет удельных отраслевых затрат покупной электроэнергии (e , кВт·час/т), условного топлива (t , кг у.т./т) и выбросов диоксида углерода (w , т CO_2 /т) при производстве катаных шаров в условиях Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ»

Продукция, полуфабрикаты	Сквозной расходный коэффициент, q_s , т/т	Удельные расходы (выбросы)					
		цеховые			заводские		
		$e_{ц}$, кВт·час/т	t , кг у.т./т	w , т CO_2 /т	$e_{з}$, кВт·час/т	t , кг у.т./т	w , т CO_2 /т
Катаные шары	1,0000	538,8	29,4	0,0514	538,8	29,4	0,0514
Подкат ст. 390	1,0195	130,1	52,4	0,0917	132,6	53,4	0,0935
Сталь (ККЦ, МНЛЗ)	1,0603	161,9	25,2	0,1255	171,7	26,7	0,1331
Известь на сталь	0,0729	55,9	254,6	1,0461	4,1	18,6	0,0763
Чугун на сталь	0,9402	139,0	578,2	0,5705	130,7	543,6	0,5364
Пар ТЭЦ	0,9402	–	–	0,6420	–	–	0,6036
Агломерат	1,2693	37,2	56,2	0,1826	47,2	72,0	0,2318
Окатыши	0,4197	35,1	30,6	0,1204	14,7	12,8	0,0505
Известь на агломерат	0,0495	55,9	251,6	1,0461	2,8	12,6	0,0518
Прочие заводские	–	–	–	–	23,9	42,1	0,0271
Кокс на чугун	0,5950	35,0	168,2	0,1849	20,8	100,1	0,1100
Кокс на агломерат	0,0774	35,0	168,2	0,1849	2,7	13,0	0,0143
Железорудный концентрат	1,6552	100,5	2,0	0,0350	166,3	3,3	0,0579
Итого отраслевые затраты					1255,7	927,6	2,0377
Отраслевая энергоемкость			1411,0				

Во-первых, согласно принятой в проекте технологии производства катаных шаров сквозной расходный коэффициент чугуна на производство конечной продукции существенно ниже, чем при использовании базовой технологии (соответственно 0,9402 и 1,1265 т/т), – в основном за счет использования непрерывной разливки стали вместо разливки в слитки. Несколько меньшими в проекте предусмотрены расходы подката на шаропрокатных станах (соответственно 1,02 и 1,0297 т/т) и заготовок в сортопрокатном цехе (соответственно 1,04 и 1,0481 т/т). Кроме того, расход чугуна на выплавку стали в конвертерном цехе ПАО «ЕМЗ» (0,8867 т/т) немного ниже (на 0,0158 т/т), чем в конвертерном цехе ПАО «МК «Азовсталь». За счет снижения сквозного расхода чугуна на 0,1863 т/т электроэнергии будет расходоваться меньше на $0,1863 \cdot 139 \cdot 20 = 517,9$ тыс. кВт·час, а условного топлива – на $0,1863 \cdot 578,2 \cdot 20 = 2154,4$ т. Снижение сквозного расхода чугуна обуславливает также и снижение сквозного расхода аглорудного сырья (агломерата и окатышей), кокса и железорудного концентрата, вследствие чего уменьшаются расходы электроэнергии (на 40,2 кВт·час/т) и условного топлива (на 10,8 кг/т).

Во-вторых, исключение из технологического процесса обжимного передела снижает затраты покупной электроэнергии на $25,4 \cdot 20 = 508$ тыс. кВт·час и топлива – на $60,9 \cdot 20 = 1218$ т у.т.

В-третьих, в ПАО «МК «Азовсталь» подкат (шаровую заготовку) производят на устаревшем крупно-сортном стане 650 (пущен в 1953 г.), в то время как

согласно проекту для этих целей используется современный стан 390, благодаря чему проектная энергоемкость подката на «ЕМЗ» (98,5 кг у.т./т) ниже, чем на «Азовстали» (155,1 кг у.т./т). В результате экономия топлива может составить $(133,6 - 53,4) \cdot 20 = 1604$ т у.т. при дополнительном расходе покупной электроэнергии $(132,6 - 63,2) \cdot 20 = 1388$ тыс. кВт·час.

Проектная цеховая энергоемкость производства шаров (236,8 кг у.т./т) несколько выше цеховой энергоемкости их производства в ПАО «МК «Азовсталь» (188,3 кг у.т./т). Это обусловлено тем, что расход электроэнергии на регламентированный отпуск катаных шаров после закалки в специальной электропечи составляет около 79 кВт·час/т.

Для нагрева подката на шаропрокатном стане проектом предусмотрена установка индукционной нагревательной печи (на ШПС ПАО «МК «Азовсталь» используются рекуперативные нагревательные печи). В связи с этим проектная энергоемкость производства шаров (как цеховая, так и сквозная заводская) выше, а топливоемкость – ниже аналогичных показателей при производстве шаров в условиях ПАО «МК «Азовсталь».

В результате внедрения проектируемой технологии значительно (на 1,8502 т CO_2 /т) уменьшатся и выбросы в атмосферу диоксида углерода. Такое снижение эмиссии объясняется действием целого ряда факторов:

- резким сокращением расхода топлива в шаропрокатном отделении в связи с использованием индукционной нагревательной печи, что должно обеспечить снижение коэффициента эмиссии с 0,5668 до 0,0514 т CO_2 /т;

- уменьшением расходного коэффициента чугуна (на 0,1863 т/т) и коэффициента эмиссии CO_2 в доменном цехе (с 0,8102 до 0,5705 т CO_2 /т), что должно обеспечить снижение сквозного коэффициента эмиссии на 0,3763 т CO_2 /т (с 0,9127 до 0,5364 т CO_2 /т);
- меньшим коэффициентом эмиссии диоксида углерода при выработке пара ТЭЦ (0,7159 и 0,6420 т CO_2 /т в пересчете на тонну чугуна в ПАО «МК «Азовсталь» и Макеевском филиале ПАО «ЕМЗ» соответственно) и, следовательно, меньшим расходным коэффициентом пара ТЭЦ;
- меньшим коэффициентом эмиссии диоксида углерода на прокатном стане 390, где в качестве топлива используется природный газ, в то время как на стане 650 ПАО «МК «Азовсталь» основным видом топлива является доменный газ.

Таким образом, производство шаров в Макеевском филиале ПАО «ЕМЗ» позволяет уменьшить общую величину выбросов диоксида углерода в атмосферу (по сравнению с выбросами CO_2 при аналогичном производстве в ПАО «МК «Азовсталь») на $1,8502 \cdot 20 = 37$ тыс. т. Кроме того, заложенная в проекте технология дает возможность уменьшить расход железной руды на производство шаров на $(2,0162 - 1,6552) \cdot 20 = 7,22$ тыс. т.

Следует отметить, что из-за более высокого расхода кокса на выплавку чугуна в доменном цехе ПАО «ЕМЗ» незначительно (на 184 т) увеличится потребность в коксе на производство 20 тыс. т шаров.

ВЫВОДЫ

Проведена оценка энергоэффективности проектных решений по введению в эксплуатацию шаропрокатного

Проведено оцінку енергоефективності проекту щодо організації шаропрокатного виробництва в ПАТ «ЕМЗ» на основі розрахунку наскрізної галузевої енергоемності. Здійснено прогноз викидів діоксиду вуглецю при виробництві куль на цьому підприємстві.

стана в Макеевском филиале ПАО «ЕМЗ». Предложенная технология позволит снизить отраслевую энергоемкость производства шаров на 288,1 кг у.т./т и ежегодно экономить 10 тыс. т условного топлива при дополнительном расходе покупной электроэнергии в 11,1 млн кВт·час. Кроме того, при производстве 20 тыс. т шаров по предлагаемой технологии выбросы в атмосферу диоксида углерода снизятся на 37 тыс. т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сталинский Д. В.** Зависимость энергоемкости товарного проката от технологии производства / Д. В. Сталинский, В. Г. Литвиненко, Г. Н. Греция, Т. А. Андреева // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 5. – С. 103–108.
2. Методика расчета затрат топливно-энергетических ресурсов на предприятиях горно-металлургического комплекса с использованием заводской (сквозной) энергоемкости / Минпромполитики Украины. – Утв. 2006–04–07. – X., 2006. – 29 с.
3. **Арнуд Р. Вильямс.** Рикшотетом из Европы / Р. Вильямс Арнуд, Натали Ван дер Маулен // *Металлы Евразии*. – 2011. – № 11. – С. 2–5.
4. **Грищенко С. Г.** Применение метода сквозной энергоемкости для анализа затрат энергоресурсов в горно-металлургическом комплексе / С. Г. Грищенко, Д. В. Сталинский, В. Г. Литвиненко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 1. – С. 110–114.

Поступила в редакцию 14.07.2014

Energy efficiency of the project on setting-up ball-rolling production at PbJSC «Yenakieve Iron and Steel Works» based on calculation of through sectoral energy consumption was estimated. Carbon dioxide emission during ball producing at this enterprise was forecast.