

УДК 669.1:621.3.004.18(477)

В.И.Большаков, Л.Г.Тубольцев

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Показано, что для металлургии Украины характерна значительная энергоемкость металлопродукции. Приведены количественные показатели энергоемкости производства металлопродукции и показаны пути уменьшения энергозатрат в черной металлургии.

Современное состояние вопроса. Черная металлургия является одной из энергоемких отраслей промышленности во всех странах мира, однако уровень энергопотребления по странам существенно различается. Для металлургии Украины, которая уверенно входит в число семи крупнейших мировых производителей чугуна и стали, характерны достаточно высокие показатели энергоемкости металлопродукции, которые по данным многих аналитиков в 1,3–1,5 раза превышают аналогичные показатели стран ЕС, США и Японии[1–4].

Одной из важнейших составляющих энергосбережения является достоверное и качественное информационное обеспечение для проведения соответствующих организационных, технических и экономических мероприятий. Анализ сквозной энергоемкости металлургической продукции, также как и расходов покупных материалов (железорудного концентрата, огнеупоров, металлолома, валков и т.п.), покупных энергоресурсов (электроэнергии, природного газа, кокса, мазута и т.п.), трудовых и других ресурсов является обязательным условием для решения проблем энергосбережения. Особенно важен такой анализ для горно–металлургического комплекса (ГМК) в условиях энергетической зависимости Украины.

Для сравнительного анализа энергосбережения, как правило, используются статистические или литературные данные, которые зачастую не сопоставимы из–за отсутствия единой методики их обработки. Это существенно затрудняет анализ имеющихся данных по энергосбережению. Обычно показатели энергоемкости готовой продукции рассчитываются по данным заводских балансов энергоносителей, балансов производства и потребления металлургической продукции, а такие расчеты достаточно сложны и противоречивы без использования общепринятой методики расчета сквозной энергоемкости, хотя методика расчета энергопотребления принята в качестве Государственного стандарта Украины еще в 1999 году[5–6].

Постановка задачи. Для анализа эффективности использования перспективных технологий на металлургических предприятиях в Институте Черной металлургии НАН Украины разработана системная балансовая модель расчета себестоимости металлургической продукции на базе нормативной или фактической базы материальных ресурсов, с учетом много-

стадийности производства и использования большого количества как покупных энергоресурсов, так и собственного производства. Одновременно модель позволяет рассчитывать сквозную энергоемкость по отдельным видам продукции, цехов, предприятий и отрасли в целом, проводить анализ с учетом нормативных и фактических расходов материалов и энергоресурсов в производстве.

В общем случае под энергоемкостью (d) понимается удельный расход условного топлива в приведенном виде на тонну готовой продукции (т.у.т./т). В черной металлургии используются различные виды энергоносителей (уголь, кокс, природный газ, коксовый и доменный газы, электроэнергия, кислород, сжатый воздух и т.д.). Для приведения этих видов энергоносителей к условному топливу используются переводные коэффициенты, которые установлены для средних теплоемкостей используемых энергоносителей.

Энергоемкость продукции рассчитывается по выражению:

$$d = 29 q + 0,42 e + 1,15 g + 0,99 k + 0,14 p + 0,13 gd + 0,52 gk ,$$

где:

- q – удельный расход внешнего тепла, ГДж/т;
- e – удельный расход электроэнергии, тыс. кВт.ч/т;
- g – удельный расход природного газа, тыс.м³/т;
- k – удельный расход твердого топлива (угля), т.у.т./т;
- p – удельный расход пара, тыс.м³/т;
- gd – удельный расход доменного газа, тыс.м³/т;
- gk – удельный расход коксового газа, тыс.м³/т;

Различают следующие виды энергоемкости: прямая (ПЭ); цеховая (ЦЭ); заводская или комбинатовская (КЭ); полная металлургическая (ПМЭ) [5]. Из ПМЭ можно выделить также энергоемкость по видам продукции (ВМЭ), которая учитывает энергоемкость производства определенного вида продукции.

Прямая энергоемкость продукции рассчитывается по данным статистической отчетности и дает информацию только о части затрат топливно–энергетических ресурсов (ТЭР). Например, ПЭ не учитывает собственные вторичные виды энергоресурсов, используемые для производства других видов металлопродукции, а также имеются и другие недостатки, которые значительно искажают действительное энергопотребление. В качестве примера можно привести данные прямой удельной энергоемкости проката по ведущим странам мира (рис.1). Прямую энергоемкость обычно используют для сравнительного макроэкономического анализа энергопотребления, для общей характеристики структуры металлургического производства.

Изложение основных материалов исследования. В табл.1 приведена динамика потребления энергоресурсов в горно–металлургическом комплексе (ГМК) Украины в 1998–2007 гг., где удельные энергоресурсы представлены как общие затраты условного топлива, деленные на произ-

водство общего проката. Этот показатель используется наиболее широко при оценке макропоказателей черной металлургии зарубежных стран.

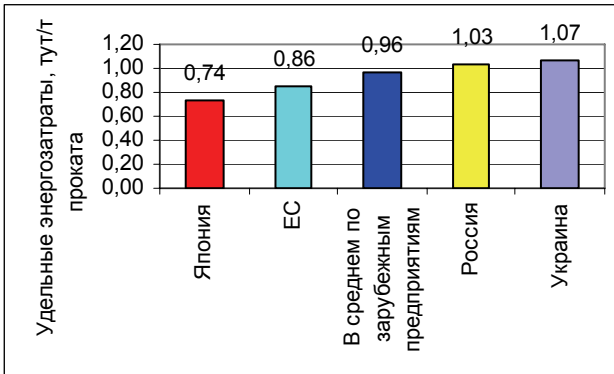


Рис. 1. Прямые удельные энергозатраты на производство одной тонны проката (2007 г.)

Таблица 1. Динамика потребления энергоресурсов в ГКМ Украины в 1998–2007 гг.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Производство проката (общего), млн.т	17,8	17,5	21,1	24,3	29,7	31,8	33,5	33,4	36,1	40,1
Потребление энергоресурсов:										
электроэнергия, млн.кВт.ч	33937	33355	36231	36827	36615	38781	40411	39296	40294	40910
природный газ, млн.куб.м	8963	8661	9493	9192	8845	9358	9892	9623	9883	10034
всего условного топлива, млн.т	34,37	35,75	38,92	39,09	39,12	41,37	42,64	41,20	42,24	42,88
удельные энергозатраты, туп/т проката (расчет)	1,93	2,04	1,84	1,61	1,32	1,30	1,27	1,23	1,17	1,07
энергозатраты, г.у.т./т проката (экспертная оценка)	1,92	1,85	1,73	1,54	1,48	1,42	1,42	1,28	1,27	1,25
удельная энергия, ГДж/т проката	56	60	54	47	38	38	37	36	34	31
природный газ, тыс.м3/т проката	0,50	0,49	0,45	0,38	0,30	0,29	0,30	0,29	0,27	0,25
электроэнергия, тыс.кВт.ч /т проката	1,91	1,91	1,72	1,52	1,23	1,22	1,21	1,18	1,12	1,02

По расчетным данным за период 1998–2007 гг. на предприятиях ГМК Украины достигнуто уменьшение удельного расхода энергоресурсов на 0,86 тут на тонну проката (рис.2) за счет технического перевооружения доменного производства на ряде металлургических предприятий, увеличения доли производства стали в конвертерах, использования наименее затратных мер преимущественно организационного характера. Дальнейшее уменьшение энергозатрат потребует существенных капитальных вложений на техническое перевооружение и модернизацию, а также на научно–техническое сопровождение этих работ.

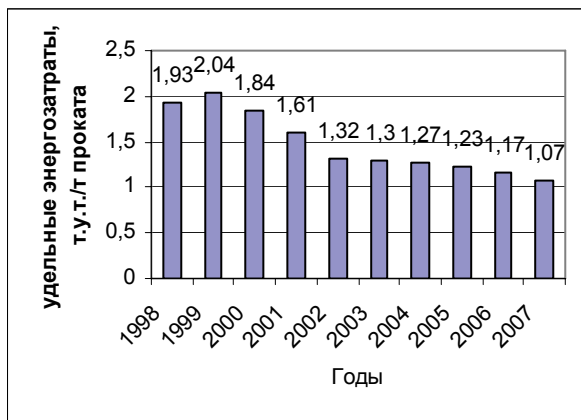


Рис.2. Динамика изменения в ГМК Украины удельных энергозатрат на производство проката

Цеховая энергоёмкость (ЦЭ), помимо прямых удельных затрат топлива и энергии, учитывает также пересчитанные в эквивалентный расход удельные затраты производных энергоносителей. Цеховая энергоёмкость является характеристикой конкретного вида производства и позволяет оценить энергоэффективность производства (рис. 3).

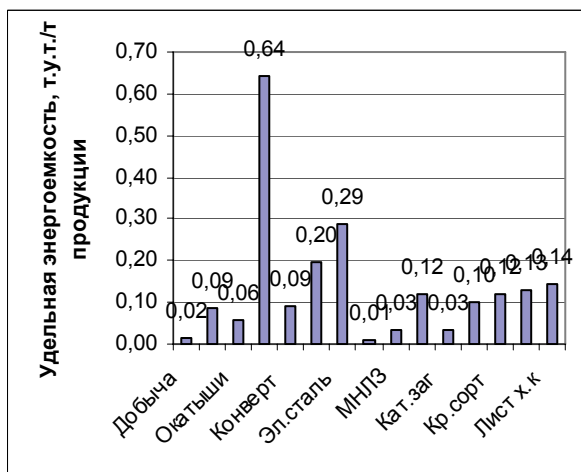


Рис.3. Цеховая энергоёмкость продукции по металлургическим переделам.

Сквозная по металлургическому предприятию энергоёмкость продукции (КЭ) включает ЦЭ и затраты энергоресурсов на изготовление полуфабрикатов на этом же предприятии

в количестве, необходимом для производства данной продукции.

Полная металлургическая энергоёмкость (ПМЭ) включает в себя КЭ и затраты топливно–энергетических ресурсов (ТЭР) на производство полуфабрикатов вне металлургического предприятия, таких как производство кокса, ферросплавов, огнеупоров, добыча и обогащение железной руды, производство окатышей или агломерата. Полная металлургическая энергоёмкость, как наиболее представительный критерий энергоёмкости производства, позволяет проводить анализ и определять наиболее рациональные схемы использования материальных, сырьевых и энергетических ресурсов, выявлять возможные пути экономии энергоресурсов. В качестве примера ПМЭ можно привести данные по энергоёмкости проката (2006 г) на ряде отечественных предприятий (рис.4), которые показывают существенное отличие в используемых показателях прямых удельных энергозатрат (ПЗ) на производство проката и отличаются от приведенных на рис. 1.

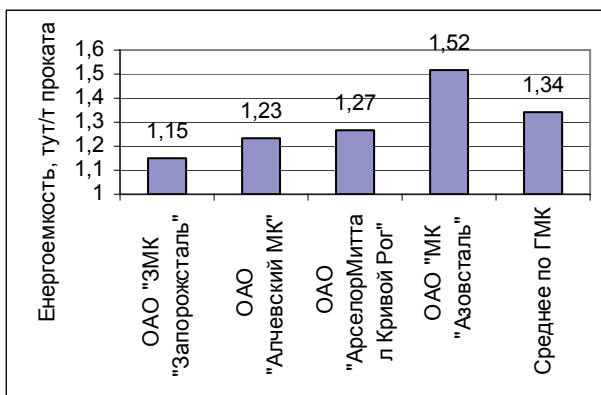


Рис.4. Полная металлургическая энергоёмкость проката на предприятиях Украины (2006 г).

Одной из разновидностей ПМЭ является полная металлургическая энергоёмкость по видам продукции (ВМЭ), которая характеризует энергоёмкость конкретных видов продукции, позволяет сравнивать конкретные схемы производства металлопродукции и определять эффективность использования различных технологических схем и структуры производства. В качестве примера ВМЭ приведены данные удельной энергоёмкости при производстве различных видов металлопродукции на интегрированных заводах (рис.5), мини–заводах (рис.6) и при использовании схемы совмещения непрерывной разливки и прокатки (рис.7). Приведенные данные свидетельствуют о решающем влиянии структуры производства на энергоёмкость металлопродукции.

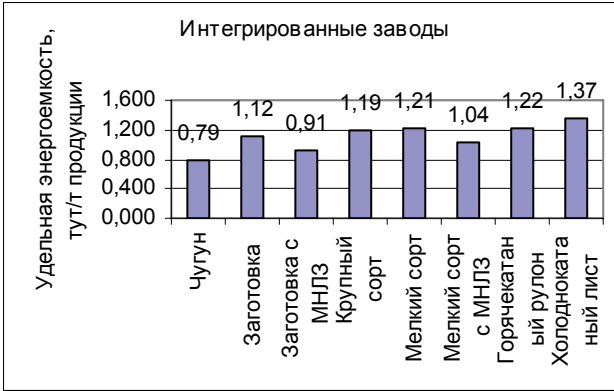


Рис.5. Удельная энергоёмкость различных видов металлопродукции на интегрированных предприятиях.

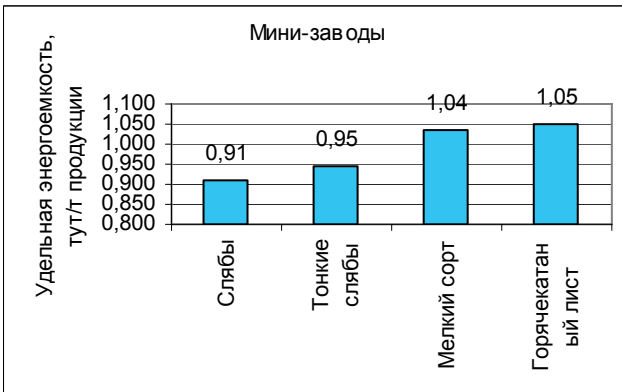


Рис.6. Удельная энергоёмкость различных видов металлопродукции мини-заводов.

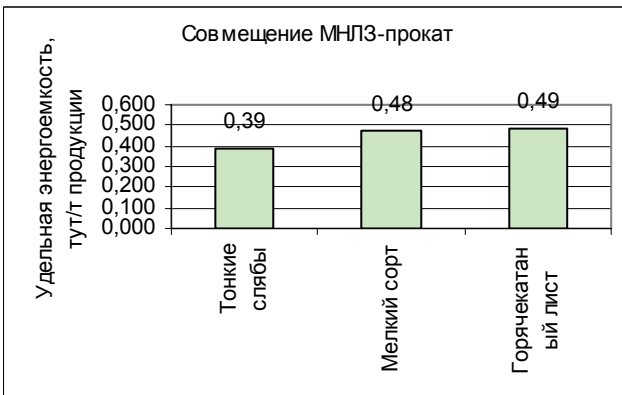


Рис.7. Удельная энергоёмкость различных видов металлопродукции (совмещение «МНЛЗ-прокат»).

На металлургических предприятиях наиболее энергоемким является доменное производство (рис.8).

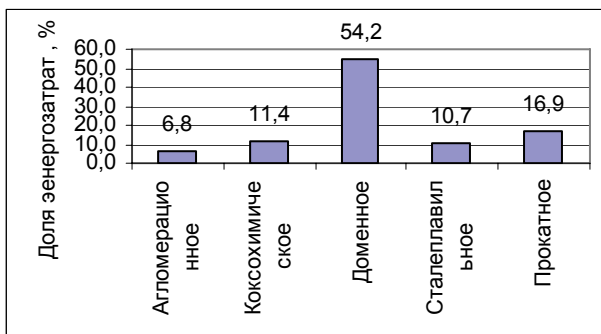


Рис.8. Доля энергозатрат по металлургическим производствам ГМК (2007 г.)

В табл.2 приведены данные расходов кокса, угля (пылеугольное

топливо – ПУТ) и мазута при производстве чугуна в странах ЕС (в кг на тонну чугуна).

Таблица 2. Удельный расход сырья и энергоносителей при производстве чугуна в странах ЕС (кг/т чугуна)

Показатели	1950 год	1990 год	2000 год
Производство на 1 печь, млн. т /год	0,093	1,13	1,67
Железорудное сырье, кг/т	2256	1900	1581
Энергоносители			
кокс, кг/т	927	468	344
уголь, кг/т	0	50	118
мазут, кг/т	0	24	16
ВСЕГО, кг/т	927	542	478

За последние 50 лет в доменном производстве произошло значительное уменьшение расхода энергоресурсов, в европейских и японских доменных печах расход топлива уменьшился практически наполовину (рис.9). Этому способствовали такие технические и технологические мероприятия, как обогащение железной руды, повышение температуры дутья до 1200⁰С и более, применение природного газа и обогащение дутья кислородом, улучшение качества шихтовых материалов и кокса, совершенствование оборудования систем загрузки, применение бесконусных загрузочных устройств, использование альтернативных топливных добавок в дутье [7]. Наиболее мощным средством интенсификации доменной плавки и уменьшения себестоимости производства явилось применение кислорода и горячего дутья совместно с использованием природного газа (ПГ) или иных водородсодержащих добавок. Выполненные в ИЧМ под руководством академика З.И.Некрасова исследования показали, что при увеличении содержания O₂ в дутье до 24–25% суточное производство чу-

гуна увеличилось на 10%, а удельный расход кокса уменьшился на 20% [8,9]. Использование ПГ позволяет применять дутье с повышенным содержанием кислорода, что является основой интенсификации хода доменной плавки.

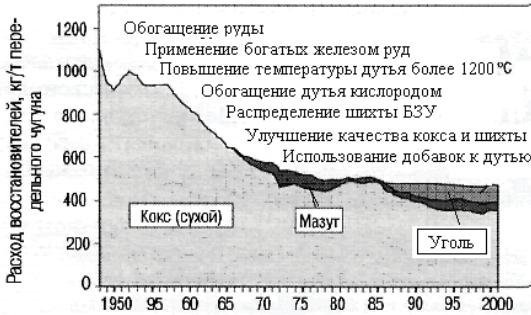


Рис.9. Средний удельный расход восстановителей в доменных печах Европы в 1948–2000 гг.

Черная металлургия потребляет широкую гамму внешних источников энергии, основными из которых являются уголь, природный

газ, электроэнергия, а также производит собственные энергоресурсы, используемые в производственном цикле (тепловая энергия, доменный, коксовый и конвертерный газ, электроэнергия, сжатый воздух, кислород, азот, пар) (рис.10).

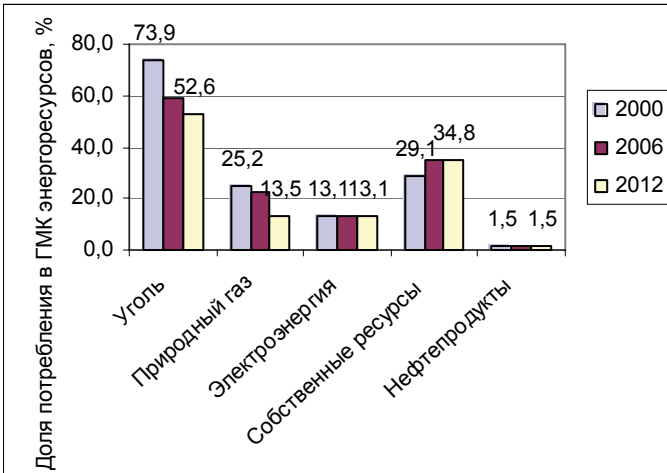


Рис.10. Доля потребляемой в черной металлургии энергии по видам.

По переделам использование энергоресурсов

неравномерно. В доменном производстве потребляется до 60% общих энергоресурсов (рис.11), а в сумме с затратами на подготовку шихтовых материалов на производство чугуна расходуется около 70% их количества. Именно доменный энергоемкий передел наиболее привлекателен для уменьшения общеотраслевых затрат. В Украине только за последние 6 лет удельный расход энергоносителей уменьшился с 0,94 до 0,83 тунт/т чугуна,

а в перспективе до 2012 г. ожидается дальнейшее снижение до уровня 0,69 тунт/т чугуна (рис.12).

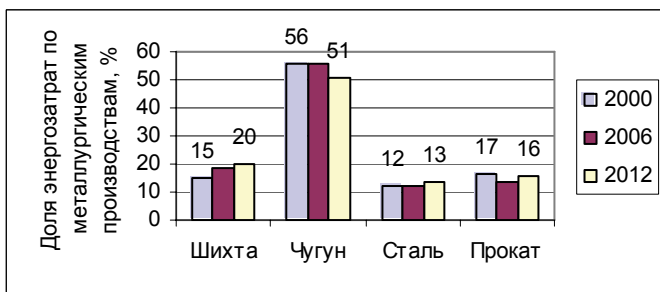


Рис.11. Доля энергозатрат по металлургическим производствам в ГКМ Украины.

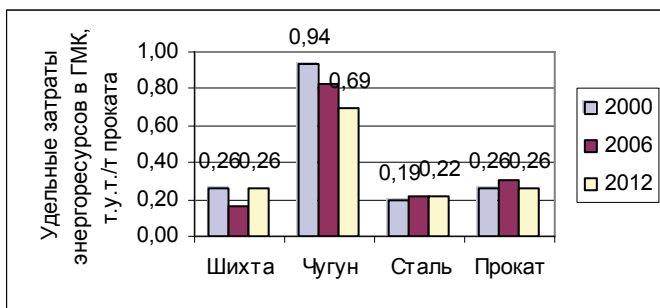


Рис.12. Удельные затраты энергоресурсов в ГКМ.

В последние годы в черной металлургии одним из наиболее проблемных видов энергоносителей становится природный газ. Основными потребителями природного газа являются доменная печь, которая занимает центральное место в энергетическом балансе предприятий по потреблению кокса и ПГ, мартеновское и прокатное производство (рис.13).

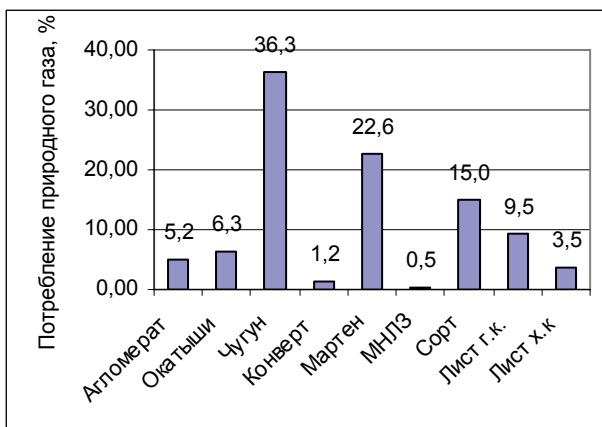


Рис.13. Доля потребления природного газа по основным металлургическим переделам, %.

Наличие мощных газовых месторождений в России (рис.14) определяло в СССР природный газ как основной вид газообразного

технологического топлива. Распределение запасов природного газа по регионам мира свидетельствует, что этот энергоноситель не является широко доступным для Украины и требует внимательного отношения при составлении энергетических балансов на перспективу.

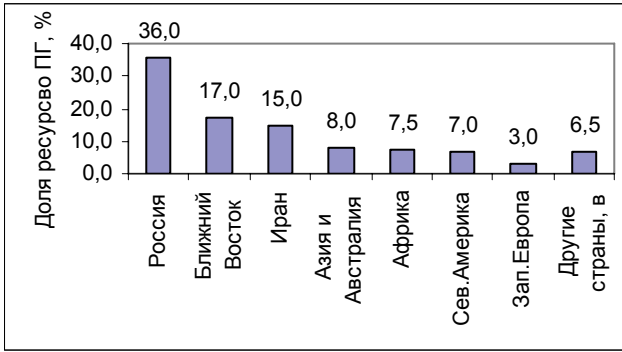
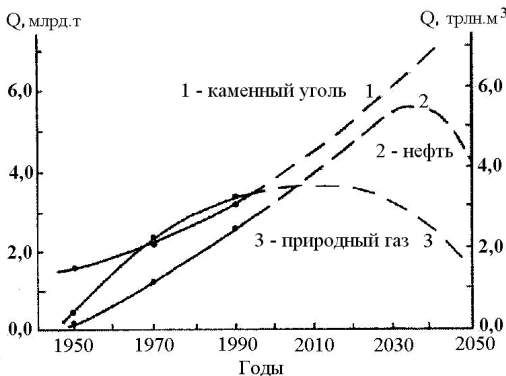


Рис.14. Распределение мировых ресурсов природного газа между регионами, %.

Металлургический комплекс Украины ежегодно потребляет свыше 7–9 млрд.куб.м природного газа (ПГ), в т.ч. доменное производство – около 3,1 млрд.куб.м. Использование ПГ в черной металлургии является весьма удобным и технологически целесообразным [10]. Однако, увеличение стоимости ПГ в 2006 году ставит перед металлургическими предприятиями Украины вопрос о целесообразности дальнейшего его использования и необходимости поиска альтернативных видов энергии. По оценкам мировых аналитиков, используемые в настоящее время источники энергии являются невозобновляемыми, их запасы весьма ограничены и уже через 30–40 лет использование нефти и природного газа для промышленного производства будет невозможно. Запасов угля может хватить лет на 500. Прогноз динамики мировой добычи энергоносителей (рис.15) показывает, что привычные источники энергии, такие как ПГ и нефть, могут быть исчерпаны в короткое время. Уголь человечество будет использовать в качестве энергоносителя и



в среднесрочной перспективе. Для черной металлургии перспективными являются каменные и бурые угли, пылеугольное топливо, продукты газификации углей [11].

Рис. 15. Динамика и перспективы мировой добычи энергетических ресурсов.

Украина в настоящее время не в полной мере обеспечена природным газом собственной добычи, но обладает достаточно мощными месторождениями угля, хотя возможности угольной промышленности используются еще не в полной мере (рис. 16).

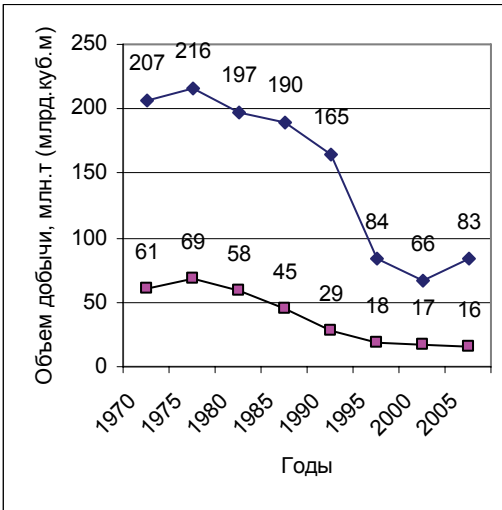


Рис. 16. Добыча угля и природного газа в Украине.

◆ – каменный уголь;
■ – природный газ.

В ГМК проводится постоянная работа по снижению уровня потребления энергетических ресурсов. Снижение энергозатрат в доменном производстве произошло за счет использования результатов научных исследований, изменения шихтовых условий

плавки, повышения качества шихты, увеличения уровня содержания железа, создания доменных печей большого объема, интенсификации технологии доменной плавки вдуванием кислорода, совершенствования режимов загрузки доменных печей. В последние годы происходит изменение видовой структуры потребляемых энергоносителей. Расширилось использование непосредственно угля в доменной плавке, пылеугольного топлива (ПУТ), горячих восстановительных газов, что обуславливает уменьшение удельного расхода кокса на тонну чугуна. В то же время, общий уровень расхода энергоносителей изменился незначительно, что свидетельствует о необходимости развития научных исследований в этом направлении.

В ближайшей перспективе возможны несколько вариантов использования энергоресурсов в металлургической отрасли Украины.

1. Применение природного газа в объеме до 100 куб.м /т чугуна независимо от его стоимости.

Этот вариант не требует капитальных вложений, но приведет к увеличению себестоимости чугуна и уменьшению прибыли металлургических предприятий (рис. 17). Потребление ПГ для производства чугуна составит 3 млрд куб.м в год. При производстве 40 млн.т чугуна и изменении стоимости природного газа от 180 до 400 долл за 1000 куб м. дополнительные затраты предприятий составят около 22 долл./т или в сумме по Украине – 880 млн.долл в год. Для проведения макроанализа можно воспользоваться

следующей зависимостью изменения (Δ) себестоимости чугуна ($C_{\text{ч}}$) от стоимости природного газа ($C_{\text{г}}$):

$$\Delta C_{\text{ч}} = 0,0287 C_{\text{г}} - 2,3413$$

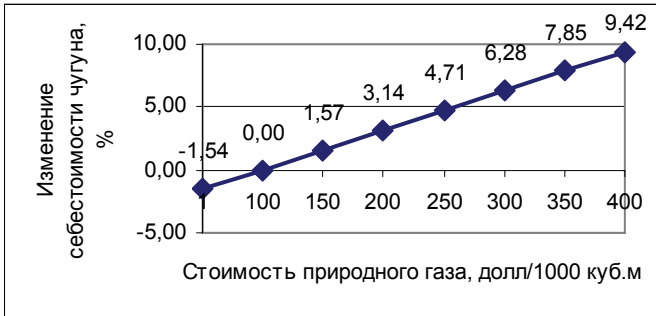


Рис. 17. Изменение себестоимости чугуна в зависимости от стоимости природного газа.

2. Уменьшение объемов использования природного газа до минимального значения с сохранением интенсивности доменной плавки.

Отказ от применения ПГ в доменной плавке приведет к снижению интенсивности плавки, потере производительности и снижению конкурентоспособности металлургического производства [12]. В 2007 г. в Украине расходовалось около 100 куб.м. природного газа на тонну чугуна. Такой расход ПГ удобен для регулирования теплового режима доменной плавки и был экономически оправдан при существовавших ценах. Использование минимального расхода природного газа позволяет обеспечить дополнительную регулировку теплового состояния печи, что позволит сохранить повышенную интенсивность доменной плавки.

2.1. Отказ от природного газа за счет увеличения расхода кокса. По данным Ассоциации Укркокс в Украине существует возможность дополнительного производства кокса в объеме около 2,8 млн.т, что позволяет рассматривать вариант полной замены ПГ коксом [13]. Коэффициент замены коксом ПГ составляет 0,6–0,7 кг/куб. м. По мировым ценовым характеристикам кокс и ПГ практически равнозначны, однако отказ от использования природного газа приведет к снижению концентрации кислорода в дутье, интенсивности плавки, производительности доменных печей, в результате чего возрастет себестоимость чугуна. В условиях тенденции роста цены кокса вариант замены ПГ коксом для Украины является экономически не привлекательным. В случае необходимости дополнительная потребность в коксе частично может быть компенсирована загрузкой в доменную печь антрацита (50–60 кг/т), технология использования которого освоена в доменном производстве украинских заводов.

2.2. Частичная замена кокса и природного газа пылеугольным топливом.

В доменном производстве могут быть использованы научные разработки, позволяющие существенно снизить расход энергоресурсов, в том числе и природного газа за счет использования пылеугольного топлива

(ПУТ) [14,15]. Одним из достоинств ПУТ является возможность использования обогащенного кислородом дутья, что позволяет сохранить повышенную интенсивность доменной плавки. Предполагается, что установки по вдуванию ПУТ до 2012 года будут введены в действие на всех крупнейших металлургических предприятиях Украины: меткомбинаты «АрселорМитал Кривой Рог», Азовсталь, им.Ильича, Запорожсталь, им.Держинского, Алчевский, Енакиевский металлургический завод.

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективно ПУТ используется совместно с применением бесконусных засыпных устройств (БЗУ), которые позволяют эффективно решать задачи управления загрузкой шихты. На международном рынке БЗУ для крупных доменных печей лидирует фирма «Пауль Вюрт». Однако, в Украине немало печей небольшого объема, где использование этих аппаратов менее эффективно, и где могут быть использованы другие конструкции засыпных аппаратов отечественного производства, в частности, БЗУ с роторным распределителем.

В настоящее время более 120 доменных печей в мире работают с вдуванием ПУТ в количестве от 100 до 250 кг/т чугуна, обеспечивая замену 30 – 40% кокса (рис.18).

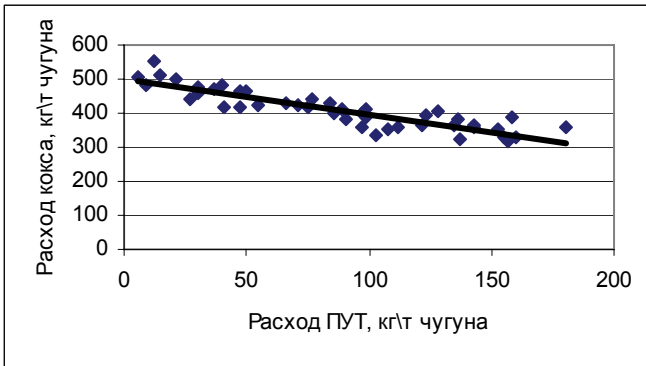


Рис.18. Зависимость расхода кокса от количества подаваемого ПУТ в доменную печь.

При улучшении качества железосодержащих материалов (агломерата и окатышей) расход ПУТ может быть увеличен до 150 – 180 кг. Высокая эффективность использования дорогостоящих комплексов пылевдувания достигается лишь при расходах вдуваемого угля более 150 кг/т чугуна.

2.3. Использование альтернативных технологий доменной плавки.

Весьма перспективной представляется технология с вдуванием в горн одновременно 2–х и даже 3–х различных дополнительных видов топлива и добавок, отличающихся друг от друга свойствами и воздействием на ход плавки. Такими добавками, обеспечивающими получение технологического и экономического эффекта, могут служить коксовый газ, пар, азот, генераторный газ.

Использование коксового газа вместо природного в доменной плавке показало высокую эффективность. ИЧМ совместно с Макеевским меткомбинатом теоретически установлена и в промышленных условиях работы доменных печей доказана целесообразность и высокая эффективность замены ПГ коксовым (КГ) в соотношении от 2 до 3 м³КГ/м³ПГ с получением экономии кокса от 2 до 8 % и приростом производительности на 2 – 8 %. Указанные результаты обусловлены технологическими преимуществами коксового газа перед природным [16]. Высокому технологическому эффекту сопутствует также экологический эффект, обусловленный тем, что при фильтрации продуктов превращений коксового газа через столб шихты в доменной печи поглощается часть вредных веществ, которые при сжигании коксового газа в топках выбрасывались в атмосферу.

2.4. Использование пара в доменной плавке. Практикой установлено, что при полном прекращении вдувания ПГ и естественной влажности дутья, температура горячего дутья должна быть снижена до 750⁰С. Это приводит к увеличению расхода кокса на 150–170 кг/т чугуна и к снижению интенсивности плавки. Некоторое ослабление отрицательных последствий прекращения подачи ПГ возможно за счет вдувания в доменную печь пара [6]. Сравнение результатов работы печей в базовом (с подачей ПГ) и опытном (с вдуванием пара или азота) периодах показывает, что вдувание пара или азота способствует поддержанию производительности доменных печей и уменьшению расхода кокса.

2.5. В качестве других видов топлива, которые могут быть в перспективе использованы в доменной плавке при соответствующей научной проработке, укажем следующие:

- использование антрацита для частичной замены кокса или природного газа;
- формованный кокс с расширением применения в угольной шихте для коксования недефицитных углей (до 70%);
- жидкие заменители кокса (ЖЗК) на основе углеводородных систем продуктов ожижения недефицитных каменных и бурых углей;
- продукты газификации слабококсующихся и некоксующихся рядовых углей;
- использование низкопотенциальных видов вторичных энергоресурсов, оптимизация энергетического баланса металлургического предприятия.

Оценивая альтернативные процессы производства чугуна и первичного железа следует отметить, что доменная печь является одним из основных агрегатов современного металлургического завода. Сегодня можно утверждать, что доменная печь отвечает требованиям и хорошо вписывается в технологическую схему идеального металлургического завода. Общий расход топлива на лучших доменных печах мира составляет 500 кг/т чугуна, в т.ч. кокса – 350 кг/т. Этот показатель сохранится и на ближайшие 10–15 лет. Ни один из известных альтернативных способов производства первичного железа пока не может приблизиться к доменной

печи по производственной мощности и себестоимости продукции (рис.20) [17].

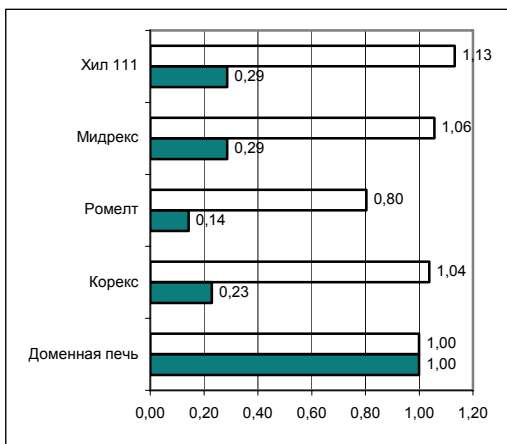


Рис.20. Сравнительные показатели цены первичного железа и мощности агрегатов альтернативных процессов по отношению к доменному процессу.

□ – цена; ■ – производительность.

Для условий Украины альтернативные способы производства первичного железа не являются во-

просом сегодняшнего дня и по другой причине – почти все они в качестве восстановителя окислов железа используют природный газ, который является дефицитным видом энергоресурсов. Однако научная и экспериментальная разработка альтернативных процессов необходима, поскольку имеются перспективы использования в качестве восстановителей не только природного газа, но твердых видов топлива, генераторного газа, получаемого из низкокачественных углей, а в перспективе можно использовать в качестве восстановителя водород.

В области сталеплавильного производства наиболее крупным потребителем природного газа является мартеновское производство (до 78% в общих затратах топлива). В Украине основное количество стали выплавляется в конвертерах, однованных мартеновских печах и в двухванных сталеплавильных агрегатах (ДСПА). Себестоимость стали и проката существенно зависит от вида сталеплавильного агрегата. Так, при изменении стоимости ПГ с 50 до 230 долл./1000 куб.м себестоимость конвертерной стали увеличится на 4,5%, а мартеновской – на 9%. В этих условиях целесообразность отказа от мартеновского способа производства стали становится еще более очевидной (рис.20).

Для проведения макроанализа можно воспользоваться следующей зависимостью изменения (Δ) себестоимости мартеновской стали (C_M) от стоимости природного газа (C_r), и аналогичной зависимостью для себестоимости конвертерной стали (C_K):

$$\Delta C_M = 0,048 C_r - 3,94$$

$$\Delta C_K = 0,023 C_r - 1,84$$

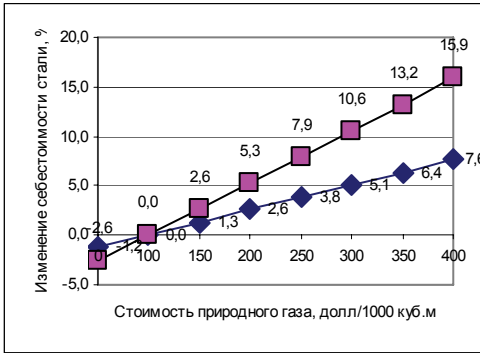


Рис.20. Изменение себестоимости стали в зависимости от стоимости природного газа.

■ – мартеновское производство;
 ◆ – кислородно-конвертерное производство.

Значительное уменьшение (160–170 кг.у.т/т проката) потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) может быть достигнуто путем структурной перестройки сталеплавильного производства ГМК [18], прежде всего за счет:

- замены мартеновских печей конвертерами и электродуговыми печами с одновременным широким внедрением непрерывной разливки стали на МНЛЗ;
- увеличения доли металлолома при выплавке стали.

Это приведет к снижению удельных расходов энергии и оптимизации структуры расходов по видам энергоносителей. Кроме того, мартеновское производство потребляет большие объемы природного газа в качестве энергоносителя, тогда как конвертерное и электрометаллургическое производства, прежде всего, базируются на потреблении электроэнергии (в том числе для производства кислорода).

При внедрении МНЛЗ экономия энергоресурсов достигается за счет исключения из технологического цикла обжимного прокатного передела, за счет сокращения расходного коэффициента металла на 12–18% по сравнению с разливкой стали в слитки. В целом по ГМК при производстве каждого миллиона тонн сортового проката можно достичь экономии до 154 тыс.условного топлива и до 56 млн.кВт.ч электроэнергии, а при производстве листового проката возможна экономия до 160 тыс.т условного топлива и до 61 млн.кВт.ч электроэнергии.

Определенные преимущества в цене, гибкости производства и экологической безопасности имеют страны, выплавляющие сталь в электропечах. Однако следует учитывать, что металлический лом, являющийся сырьем для электростали, уже содержит в себе энергетические запасы прошлых производств, в результате чего техногенная нагрузка производства снижается в 1,5–2 раза. Безусловно, доля выплавки стали в электропечах в Украине должна увеличиваться.

Эффективным шагом к снижению энергозатрат при разливке и прокатке стали является внедрение технологий с использованием новых тех-

нологических комплексов, которые объединяют машины непрерывной разливки стали с современным прокатным оборудованием (рис.21).



Рис.21. Потребление энергии при производстве листа по разным технологиям

О возможности уменьшения энергозатрат при применении современных технологий разливки стали свидетельствуют результаты расчетов, приведенные в табл. 3.

Таблица 3. Перспективы уменьшения энергозатрат при применении различных технологий разливки стали

Виды технологий разливки стали	Общие расходы энергоносителей	Расходы природного газа
Разливка в слитки с последующей прокаткой	100%	100%
Разливка на слябовой МНЛЗ с охлаждением слитков и последующей прокаткой	79%	82%
Разливка на слябовой МНЛЗ и передача слябов без охлаждения на прокатку	56%	48%
Разливка стали на тонкослябовой МНЛЗ	29%	9%
Разливка на тонкий лист на двухвалковой МНЛЗ и холодная прокатка	10%	4%

Внедрение новых технологий прокатки (тонкослябовой или двухвалковой МНЛЗ) снижает расходы природного газа в 10–25 раз. Усовершенствование металлургических технологий даст возможность сэкономить почти 60% расхода природного газа. Анализируя приведенные материалы, нужно отметить необходимость кардинального изменения всей системы энергосбережения в металлургической отрасли.

Следует отметить, что в структуре производства в ГМК преобладают низкотехнологичные виды проката с низкой добавленной стоимостью. Ориентация ГМК преимущественно на экспорт (до 80% производства проката) приводит к тому, что в структуре производства продолжают доминировать товары с низкой добавленной стоимостью – полуфабрикаты (слябы и квадратная заготовка), доля которых составляет более 40%. (рис.22).



Рис. 22. Структура экспорта металлопродукции ГМК в 2007 году.

Ориентация на производство проката с низкой добавленной стоимостью приводит к тому, что видимые удельные энергозатраты в отрасли снижаются,

однако эта тенденция в перспективе приводит к общему снижению технического уровня производства и превращению Украины в сырьевой придаток мировой металлургии. Об устойчивости такой тенденции свидетельствует направленность инвестиций на модернизацию металлургического производства. Анализ задекларированных планов развития производства по металлургическим предприятиям до 2012 года показывает, что инвестиции направляются на модернизацию первых переделов – доменного и сталеплавильного производства (рис.23). Развитие прокатного производства на этот период практически не предусматривается.

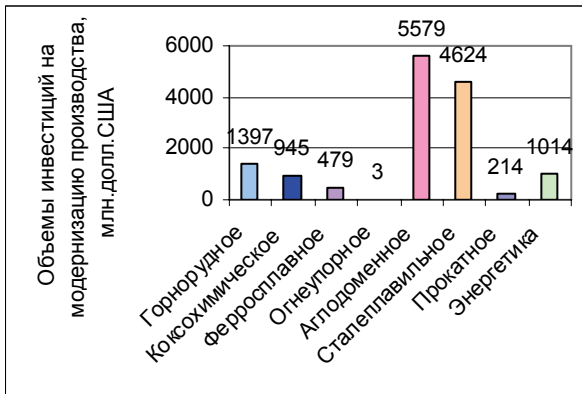


Рис.23. Прогнозируемые объемы инвестиций на модернизацию производства в ГМК (2008–2012 гг)

Реализуемая в настоящее время «Государственная программа развития и реструктуризации ГМК до 2011 года» предусматривает снижение

уровня энергопотребления в отрасли, за счет чего может быть достигнута значительная экономия энергетических ресурсов (рис.24).

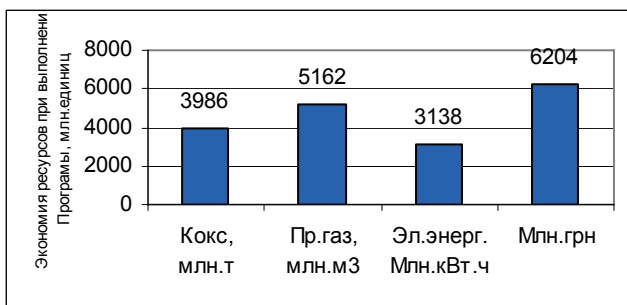


Рис.24. Показатели экономии энергетических ресурсов при выполнении Государственной программы развития и реструктуризации ГМК до 2011 года

Общие удельные энергозатраты на производство готового проката в 2012 году составят 1,27 т.у.т./т против 1,52 т.у.т./т в 2006 году и 1,87 в 2000 году (рис.25)

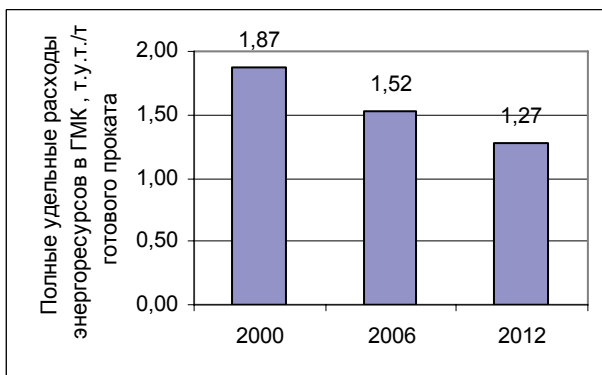


Рис.25. Изменение полных удельных расходов энергоресурсов в ГМК Украины до 2012 г.

Заключение. В

целом, можно отметить, что перспективы энергосбережения в черной металлургии

Украины связаны с решением следующих задач: обновление основных фондов, внедрение новых энергосберегающих и безотходных технологий, оборудования и аппаратов; замена природного газа альтернативными видами топлива (уголь, ПУТ, продукты газификации угля и мазута), где это возможно и экономически целесообразно; расширение использования вторичных энергетических ресурсов, прежде всего, тепловых ресурсов, полная утилизация тепла конденсации промышленного пара; уменьшение потерь материальных и энергетических ресурсов на всех стадиях технологического цикла.

1. *Большаков В.И. Тубольцев Л.Г.* Стратегия развития энергосберегающей и экологически безопасной металлургии //Экология и промышленность. – №1. – 2007. – С.8–11.

2. *Харахулах В.С., Лесовой В.В., Бродский С.С.* Итоги работы и перспективы технического перевооружения сталеплавильного производства в Украине // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №7. – С.13–16.
3. *Микитенко В.* Энергоефективність національної економіки: соціально-економічні аспекти /*Вісн. НАН України*, 2006, № 10.
4. *Кривченко Ю.С.* Ресурс– и энергосбережение на предприятиях горно-металлургического комплекса (основные мероприятия) /*Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 3. –С1–4.
5. *Информационное обеспечение энергосбережения* / Д.В.Сталинский, В.Г.Литвиненко, Г.Н.Грецькая, Т.А.Андреева // *Экология и промышленность*. – 2007. – № 3. – С.25– 29.
6. *ДСТУ 3740–98.* Методы анализа и расчета снижения затрат топлива и энергии на металлургических предприятиях. – К.:Госстандарт Украины, 1999. – 33 с.
7. *Энергетические аспекты и современное потребление энергоносителей в черной металлургии* / *К. Хендрикс, Х. М. Айхингер, М. Йюки, Г. П. Домельс.* // *Черные металлы*, июль—август 1998. — С. 108—118.
8. *Развитие металлургии в Украинской ССР.* Под редакцией акад. З.И. Некрасова. Киев.: Наукова думка.– 1980. – 960 с.
9. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Черная металлургия Украины и перспективы развития научных исследований //Сб. тр. ИЧМ. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Вып.15. – 2007. – С.3–18.
10. *Сталь на рубеже столетий* / Коллектив авторов под научн. редакцией Ю.С.Карабасова. — М: МИСиС, 2001.– 664 с.
11. *Козин Л.Ф., Волков С.В.* Водородная энергетика и экология. – К.: Наукова думка. – 2002. – 335 с. и л.
12. *Работа доменных печей в условиях дефицита природного газа* /В.Н.Булава, В.И.Афанасьев, А.П. Фоменко и др. ,, *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – №5. – С.9–10.
13. *Старовойт А.Г., Ковалев Е.Т.* Конъюнктура рынка топливно–энергетических ресурсов и расход кокса на выплавку чугуна // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005. – №5. – С.11–13.
14. *Рыженков А.Я., Ковалев А.И., Ярошевский С.Л.* Технология доменной плавки с вдуванием в горн пылеугольного топлива, природного газа и кислорода. // *Металл и литье Украины*. – 2003. – №6. – С.12–17.
15. *К вопросу о применении пылеугольного топлива на доменных печах Украины* //С.Т.Плискановский, Ю.А.Приходько, Ю.А.Ступак и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1998. – №2. – С.8–11.
16. *Доменная плавка с вдуванием коксового газа* / В.Ф.Пашинский, И.Г.Товаровский, П.Е.Коваленко, Н.Г.Бойков. – К.: «Техника». – 1991. – 104 с. с ил.
17. *Андронов В.А.* Перспективы доменного производства. / *Черные металлы*. – сентябрь 2003.– С. 17—22.
18. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 2. – С.1–5.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, профессором С.М.Жучковым*