

МИНАЕВ А.А., СМИРНОВ А.Н. (ДОННТУ)

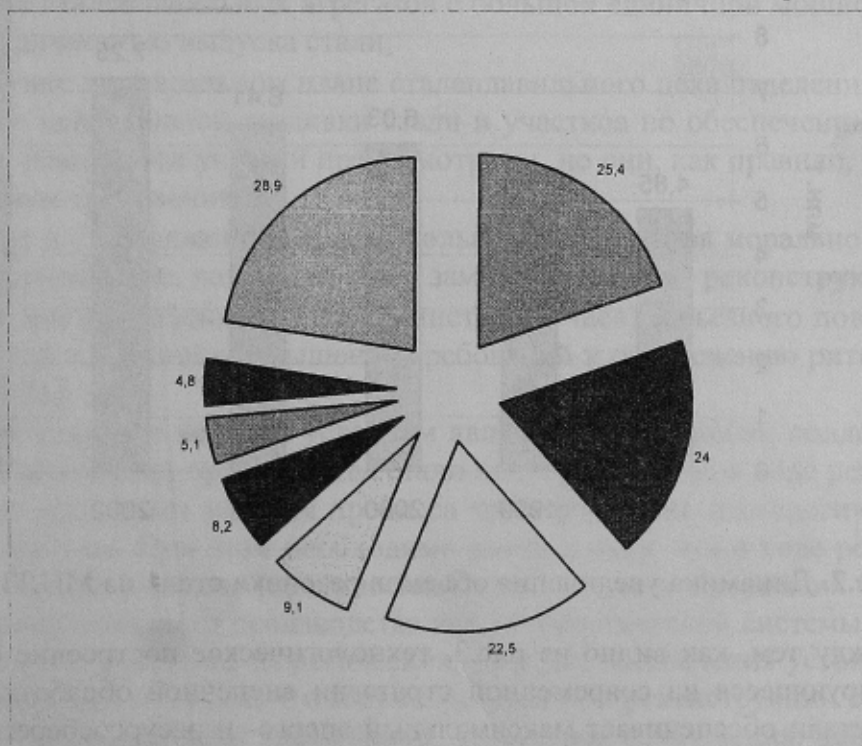
## **ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ И РАЗЛИВКЕ СТАЛИ**

*Обобщен опыт реструктуризации ряда сталеплавильных цехов в Украине, России, а также в странах Европы и Северной Америки. Для горно-металлургического комплекса Украины путь инновационного развития следует рассматривать как наиболее эффективный с точки зрения поддержания его стабильного функционирования. Применительно к сталеплавильным цехам это, в первую очередь, означает создание высокоэффективных технологических систем производства и разливки стали, базирующихся на концепции высокоэффективной непрерывной разливки стали.*

Металлургическая промышленность является инновационной отраслью. Это обуславливается целой совокупностью динамически взаимодействующих факторов, к числу которых следует отнести:

- расширение и повышение требований к технологическим и эксплуатационным свойствам стали как конструкционного материала;
- стремление уменьшить энерго- и ресурсопотребление на 1 тонну выпускаемой металлопродукции;
- повышение требований к экологической безопасности металлургических технологий и утилизации металлургических отходов;
- интенсивное внедрение в производство новых решений, базирующихся на последних достижениях научно-технического прогресса.

Для горно-металлургического комплекса Украины путь инновационного развития следует рассматривать как наиболее эффективный с точки зрения поддержания его стабильного функционирования [1]. Это обусловлено, прежде всего, тем фактом, что Украина является одним из ведущих мировых нетто-экспортеров металлопродукции (рис.1) и соответственно сильно зависит от конъюнктуры мирового рынка стали.



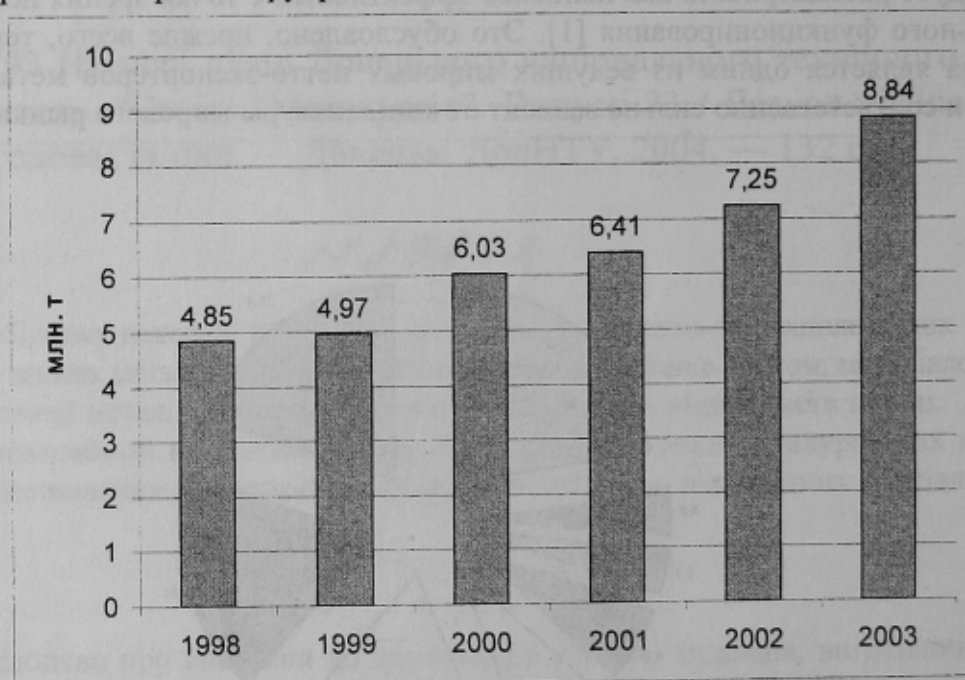
**Рис.1.** Основные мировые нетто-импортеры стали в 2002 г. (цифрами обозначают объемы экспорта в млн.т)

При этом важнейшим элементом стратегического развития черной металлургии является повышение конкурентоспособности металлургических предприятий применительно к условиям мирового рынка при условии совершенствования основных технологических систем в соответствии с требованиями научно-технического прогресса.

Не останавливаясь на подробном анализе ситуации с техническим уровнем и состоянием металлургического комплекса Украины, отметим, что в настоящее время решающим фактором для любого металлургического предприятия является не просто сбалансированная система технологий по всем основным металлургическим переделам, но и конкретно уровень развития сталеплавильного комплекса. В этом плане, по сути, ни один сталеплавильный цех Украины не соответствует сложившимся в последнее десятилетие в мире представлениям о современном высокотехнологичном производстве.

Наибольшую тревогу вызывает высокая доля мартеновского способа производства, которая в настоящее время колеблется на уровне 50% от общего объема производства стали [2,3]. Для сравнения отметим, что даже в России, чьи огромные запасы природного газа обеспечивают совершенно уникальную ситуацию для металлургов, доля мартеновского производства составляет менее 30% и продолжает неуклонно уменьшаться. Между тем в мировой практике от мартеновского производства стали уже давно отказались, а выплавка стали осуществляется либо в конвертерах, либо в высокомоощных дуговых печах.

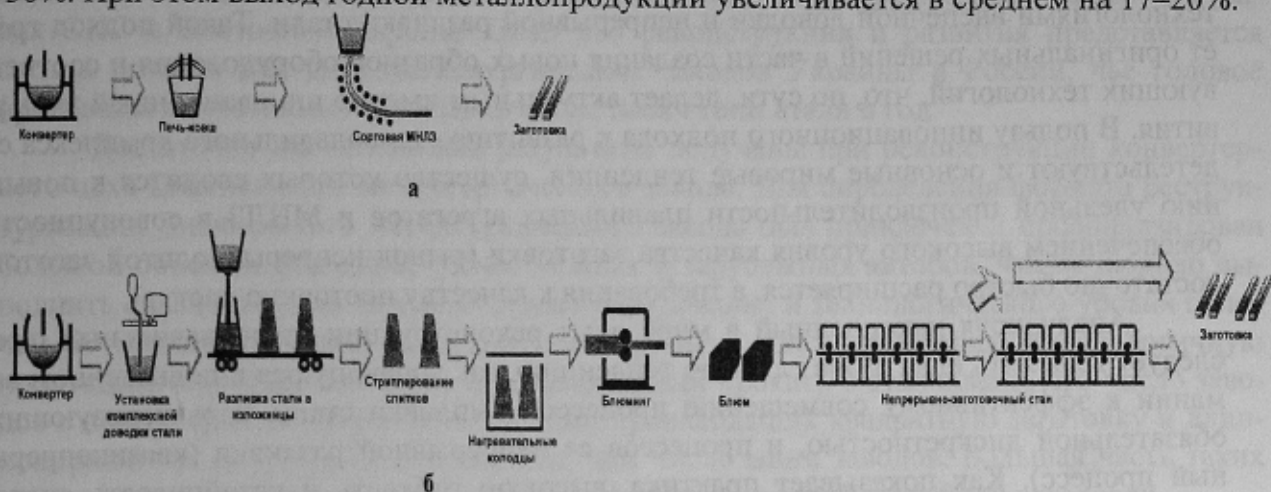
Существенное технологическое отставание наблюдается в организации процесса разливки стали: в Украине только 22–24% стали разливается непрерывным способом, причем львиная доля МНЛЗ 10–15 лет назад и более. Не смотря на тот факт, что объемы стали, разливаемой непрерывным способом, в последние годы заметно растут (рис.2), этот показатель является угрожающе низким, поскольку в большинстве стран мира он составляет 90–92% и более. При этом более 60–70% всего количества МНЛЗ в мире построено или реконструировано в последние 10–15 лет.



**Рис.2.** Динамика увеличения объемов разливки стали на МНЛЗ в Украине

Между тем, как видно из рис.3, технологическое построение сталеплавильного цеха, базирующееся на современной стратегии внепечной обработки и непрерывной разливки стали обеспечивает максимальный энерго- и ресурсосберегающего эффект в совокупности с минимальным воздействием на окружающую среду. По усредненным оценкам [4] комплексная технология внепечной обработки стали (ковш-печь) в совокупности с высокопроизводительными сортавыми МНЛЗ позволяет повысить производительность плавильных агрегатов в среднем на 12–20%, уменьшить расход электро-

энергии на 30–50 кВт ч/т, сократить расход чугуна на 15–25 кг/т и огнеупоров на 25–30%. При этом выход годной металлопродукции увеличивается в среднем на 17–20%.



**Рис.3.** Принципиальная схема производства длинномерной заготовки после реконструкции (а) и до реконструкции (б)

В целом для большинства существующих сталеплавильных цехов Украины наиболее целесообразным представляется реконструкция действующих производств с целью создания энерго- и ресурсосберегающих циклов, базирующихся на современных технологиях внепечной обработки и разливки стали. Однако, как показывает комплексный анализ, практически для любого металлургического предприятия существуют определенные специфические особенности, которые необходимо рассматривать при создании бизнес-плана реконструкции сталеплавильного цикла. К числу таких особенностей следует отнести следующее:

- наличие сталеплавильных агрегатов с большой единичной мощностью и определенной периодичностью выпуска стали;
- отсутствие в генеральном плане сталеплавильного цеха отделения для внепечной обработки и непрерывной разливки стали и участков по обеспечению их деятельности (на части заводов эти участки предусмотрены, но они, как правило, не соответствуют современным требованиям);
- наличие в сталеплавильном цехе большого количества морально и физически устаревшего оборудование, которое требует замены в процессе реконструкции;
- отсутствие возможности (в большинстве случаев) серьезного повышения объемов производства в условиях повышения требований к обеспечению ритмичности подачи стали к МНЛЗ.

Кроме того, крайне важным условием является, как правило, поддержание максимально высокого объема производства стали непосредственно в ходе реконструкции, что значительно затрудняет условия процесса трансформации технологической схемы сталеплавильного цеха. При этом необходимо иметь в виду, что в ходе реконструкции создаются достаточно сложные (критические) условия для поддержания стабильности функционирования основного производства как технологической системы. Не останавливаясь в настоящей работе на теоретических аспектах обеспечения устойчивости технологической системы, отметим, что весьма важным при реконструкции сталеплавильного цеха является определение критических параметров возмущения, при которых нарушается устойчивость системы в целом (или система теряет равновесие).

Учитывая вышеизложенное, можно с уверенностью утверждать, что эффективная трансформация технологической системы в сталеплавильном производстве пред-

ставляется достаточно сложной задачей, которая может быть решена только при условии совмещения действующих агрегатов и технологий с прогрессивными методами и технологиями внепечной доводки и непрерывной разливки стали. Такой подход требует оригинальных решений в части создания новых образцов оборудования и соответствующих технологий, что, по сути, делает актуальным именно инновационный путь развития. В пользу инновационного подхода к развитию сталеплавильного комплекса свидетельствуют и основные мировые тенденции, существо которых сводится к повышению удельной производительности плавильных агрегатов и МНЛЗ в совокупности с обеспечением высокого уровня качества заготовки (рынок непрерывнолитой заготовки достаточно быстро расширяется, а требования к качеству постоянно растут).

Анализируя накопленный в мире опыт реконструкции сталеплавильных цехов, следует выделить едва ли не главную тенденцию, заключающуюся в повышенном внимании к эффективному совмещению процессов выплавки стали, характеризующихся обязательной дискретностью, и процессов ее непрерывной разливки (квазинепрерывный процесс). Как показывает практика, высокую гибкость и устойчивость системе производства и непрерывной разливки стали придает использование агрегатов для комплексной внепечной доводки стали типа «ковш-печь», которые выполняют функции доводки стали по температуре и химическому составу, а также ее рафинирования. Наличие функции подогрева стали в ковше обеспечивает решение важнейшей организационной проблемы — подачи стали на МНЛЗ в заданное время с требуемыми условиями, что существенно повышает устойчивость технологической системы производства и разливки стали в целом.

Уже сегодня многие ведущие эксперты сходятся во мнении, что производительность 1 ручья блюмовой сортовой МНЛЗ должна составлять 220–250 тыс. т [7], а для 1 ручья слябовой МНЛЗ — 1,5–1,7 млн. т заготовки в год [8]. В принципе такие показатели в 1,5–2,3 раза превосходят рабочие параметры МНЛЗ, которые были построены еще 15–18 лет назад. Соответственно, новые высокие требования к производительности МНЛЗ в целом накладывают дополнительные требования к функционированию всей технологической системы производства и разливки стали, что предполагает корректировку некоторых положений в базовых проектах агрегатов «ковш-печь» и МНЛЗ, а также расширения области применения АСУ и повышения роли сервисного обслуживания основных технологических агрегатов.

Между тем именно при использовании высокопроизводительных МНЛЗ удается реализовать концепцию модульного построения сталеплавильных технологий, что предполагает наличие одного агрегата для выплавки стали, одного агрегата «ковш-печь» и одной МНЛЗ в единой технологической цепочке [7]. Такое построение получило тотальное распространение в современной концепции мини металлургического завода со стратегией развития «минимизация издержек» [8]. По разным оценкам на мини металлургических заводах мира производится от 23% до 28% металлопродукции.

Высокую эффективность концепции современного мини металлургического завода доказывают, например, показатели работы ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)» (г.Донецк), которое было создано на базе электросталеплавильного цеха ДМЗ. В результате комплексной реконструкции в рамках уже существующего с 1980 г. цеха и его инфраструктуры за последние годы были запущены в эксплуатацию высокоэффективные технологические агрегаты для выплавки (120-тонная ДСП), внепечной обработки (установка ковш-печь и вакуумирования в ковше) и непрерывной разливки стали (высокоскоростная шестиручьевая сортовая МНЛЗ). Общий объем инвестиций превысил 55 млн. долларов США. В 2003 г. предприятием произведено 675 тыс. т жидкой стали, из которой около 600 тыс. т разлито на МНЛЗ. По мнению руководителей предприятия в 2004 г. будет достигнут 30% рост объемов производства при условии сохранения бесперебойных поставок сырья и энергоносителей [7].

В целом уже сегодня можно говорить о том, что ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)» является одним из наиболее современных мини металлургических заводов в странах СНГ и Восточной Европы. Опыт его реконструкции и развития представляется весьма ценным для ряда металлургических заводов Украины и России, чье годовое производство составляет несколько сотен тысяч тонн стали в год.

Достаточно впечатляющие результаты получены при реконструкции конвертерного цеха Енакиевского металлургического завода. Для определения формата реструктуризации Енакиевского металлургического завода был привлечен и проанализирован большой объем информации отечественных и зарубежных авторов, что позволило выполнить сравнительный анализ состава оборудования и технологического уровня более чем 60 металлургических предприятий Европы и Азии, производящих аналогичную продукцию (сортовая заготовка и длинномерный прокат). Установлено, что число заводов с полным металлургическим циклом, производящих квадратную заготовку и длинномерный прокат значительно меньше, чем число мини заводов. Большая часть таких заводов ориентирована на производства крупных профилей и трубной заготовки.

Процесс реструктуризации Енакиевского металлургического завода, начатый в 2000 г., выполняется без остановки и сокращения объемов основного производства, что следует рассматривать как уникальное решение, не имеющее прямых аналогов в мировой металлургической практике. После выполнения комплекса пусконаладочных работ и отработки системы промышленных технологий комплекс «ковш-печь» — «МНЛЗ» начал функционировать в штатном режиме (с июля 2003 г.). Это позволило до конца 2003 г. произвести 420 тыс. т квадратной непрерывнолитой заготовки, себестоимость которой примерно на 75–80 грн/т ниже, чем у аналогичной прокатанной из слитка.

С учетом того факта, что оборудование и соответствующие технологические решения были выполнены АО «Новокраматорский машиностроительный завод», следует признать, что в Украине созданы все необходимые предпосылки для перевооружения сталеплавильных цехов металлургических предприятий отечественными оборудованием и технологиями, соответствующим лучшим мировым образцам. Создание отечественной базы для производства современного оборудования для сталеплавильных цехов, которое конкурентоспособно с образцами лучших зарубежных фирм, представляется приоритетной задачей для украинских машиностроителей и ученых.

В целом опыт Енакиевского металлургического завода не просто подтвердил возможность реструктуризации мощного конвертерного цеха консервативной концепции (без наличия в базовом проекте цикла непрерывной разливки стали) в современное предприятие, но позволил накопить опыт поэтапной реконструкции без падения объемов производства. Обобщая этот опыт, видимо, следует отметить его уникальность в части обеспечения устойчивости работы предприятия при совмещении в рамках одного цеха консервативного слиткового передела и современной высокопроизводительной МНЛЗ.

Не менее важной стратегической задачей для черной металлургии Украины является реструктуризации сталеплавильных цехов тех заводов, которые ориентированы на производство плоского проката. Сегодня уже достаточно очевидно, что для обеспечения конкурентоспособности украинской металлопродукции (слябы и плоский прокат) необходимо коренным образом изменить подход к концепции внепечной обработки и непрерывной разливки на слябовых МНЛЗ. Это, в первую очередь, относится к проблеме повышения качества металлопродукции, а также освоению новых марок высокопрочных сталей типа X70 или высокочистых сталей повышенной пластичности типа ULC или IF. В этом плане представляется целесообразным широкое применение внепечной обработки на установках ковш-печь и агрегатах вакуумирования стали в ковше типа VD/VOD. Одновременно для повышения качества сляба необходимо предусматривать определенную систему технических и технологических решений непосредственно в цикле разливки стали. Нельзя не отметить, что МНЛЗ для получения

«классического» сляба претерпевают в последнее время серьезные конструкционные изменения. Эти изменения заключаются в следующем:

- предпочтение отдается МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором, что обеспечивает повышение качества заготовки при одновременном увеличении производительности в 1,4–1,5 раза;
- применяется криволинейная схема технологической линии МНЛЗ с многоточечным загибом и разгибом;
- предусматривается техническая возможность изменения ширины заготовки непосредственно в процессе литья;
- увеличивается емкость проковша до 45–60 тонн и используется система перегородок для управления течением металла;
- обязательно используется непрерывный замер температуры металла в проковше и в отдельных зонах движения заготовки;
- часть операций по доводке стали переносится в проковш (продувка аргоном, обработка порошковой проволокой, подогрев металла и т.п.);
- наблюдается тенденция уменьшения шага поддерживающих роликов в ЗВО с обязательным предотвращением прогиба за счет применения системы многоопорных роликов;
- обязательно используются система автоматического контроля уровня металла в кристаллизаторе, а также система контроля положения жидкой лунки и динамического управления процессом затвердевания заготовки.

Однако следует также отдавать себе отчет, что успешная реконструкция промышленных предприятий на базе широкой программы инвестиционных вложений незамедлительно ставит перед государством ряд достаточно новых проблем, существо которых, видимо, должно сводиться к трансформации технократического мышления и подготовки инженерных кадров новой формации. Нам представляется важным, чтобы современный инженер (и руководитель производства) не просто владел определенной совокупностью инженерно-технических знаний, соответствующих его профессиональной специализации. Этого уже явно недостаточно.

Обеспечение научно-технического прогресса как одного из стратегических направлений развития Украины во многом зависит от гармонично развитых личностей. В этом плане очень важным является развитие у молодых специалистов определенной системы знаний, которые бы органично включали в себя не только базовые элементы научно-технического прогресса, но также ориентировали бы их на применение на практике принципов и законов реализации инвестиционных процессов и инновационных моделей. Задача вузов — обучение студентов и фундаментальные исследования, которые носят прикладной характер и реализуются в виде дипломных и диссертационных работ при тесном сотрудничестве с промышленными предприятиями. При этом прикладные разработки особенно выигрывают от знания зависимостей, открываемых фундаментальными науками. Здесь есть над чем поработать, поскольку при таком подходе возрастает роль профессорско-преподавательского состава ведущих высших учебных заведений страны, которые должны концептуально оформить новые принципы формирования инженерных кадров. Без решения этой задачи мы, по-прежнему, будем сталкиваться с низкой инвестиционной привлекательностью проектов, низкой эффективностью использования вложенных средств, проблемами повышения экспортного потенциала Украины и т.п.

Обобщая опыт реструктуризации ряда сталеплавильных цехов в Украине, России, а также в странах Европы и Северной Америки можно выделить следующие доминантные тенденции:

- повышение удельной производительности сталеплавильных агрегатов за счет применения комплекса технических решений, интенсифицирующих процесс выплавки стали при снижении энерго- и ресурсопотребления;

— повышение производительности МНЛЗ как счет увеличения скорости вытяжки заготовки, так и за счет повышения серийности разливки без остановки МНЛЗ, что обуславливает необходимость разработки определенной совокупности новых технических решений в части расширения функциональных возможностей основных элементов МНЛЗ (промковш, кристаллизатор, ЗВО, системы автоматического управления и пр.);

— широкое применение агрегатов «ковш-печь» с целью повышения оптимизации совмещения работы технологического агрегата для выплавки стали с МНЛЗ при условии повышения удельной производительности и обязательным повышением качества стали;

— интенсивное внедрение в производство новых методов литья стали, ориентированных на получение заготовки с размерами, близкими к конечным (например, заготовка для широкой горячекатаной полосы);

— расширение применения методов управления процессами формирования заготовки в процессе затвердевания (виброимпульсное и электромагнитные воздействия, «мягкое» обжигание и т.п.);

— широкое внедрение в производство систем автоматического управления процессами внепечной обработки и разливки стали, обеспечивающих оптимизацию технологических параметров непосредственно в ходе технологического процесса.

### Список литературы

1. **Большаков В.И.** Пути инновационного развития металлургии Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2003. — №4. — С. 1–3.
2. **Сталь на рубеже столетий** / Под научн. ред. Ю.С.Карабасова. — М.:МИСИС, 2001. — 664 с.
3. **Большаков В.И.** Проблемы инновационного развития ГМК Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2003. — №2. — С. 1–4.
4. **Нилль П., Этьен А.** Непрерывное литье — состояние и перспективы // МРТ, 1992. — С. 50–64.
5. **Wolf M.** Bloom and billet casting overview. //3rd European Conf. on Continuous Casting, Madrid-Spain, October 20-23, 1998. — Madrid, 1998. — P. 515–524.
6. **Wiesinger H.** Trends and Development Potential Of the Metallurgical Industry // VAI's 8-th Continuous Casting Conference, June 5-7, 2000. — Linz / Austria, 2000. — P. 1–8 (Paper No 2).
7. **Минаев А.А., Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л. и др.** Высокоэффективные технологические модули — основа реструктуризации сталеплавильных комплексов / А.А.Минаев, А.Н.Смирнов, В.Л.Пилюшенко и др. // Металлы и литье Украины, 2001. — № 5–6. — С. 7–10.
8. **Тенденции развития концепции современных мини металлургических заводов и комплексов и их целесообразность для Украины** / А.Н.Смирнов, В.Л.Пилюшенко, Т.С. Панфилова и др. // Менеджер. Вестник ДонГАУ, 1999. — № 1. — С. 35–41.
9. **Фарук Сиддики.** Без сбоя // Метал, 2004. — № 1. — С. 42–43.

© Минаев А.А., Смирнов А.Н., 2004