



There are given the results of experimental studies on temperature indication of the uninterruptedly-casted slugs at their heating from cold and hot fit with pacing beams and pacing hearth of RUP "Belarrussian metallurgical works".

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, БНТУ,
В. А. ТИЩЕНКО, РУП «БМЗ»,
И. А. ТРУСОВА, БНТУ,
В. И. ЩЕРБАКОВ, РУП «БМЗ»,
С. М. КАБИШОВ, А. В. ДЕМИН, П. Э. РАТНИКОВ, БНТУ

УДК 621.783

НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ПЕЧАХ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ПОДОМ РУП «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Нагревательные печи с шагающим подом и шагающими балками в последнее время получили широкое распространение в практике металлургического производства благодаря их преимуществам по сравнению с печами других типов, а именно: высокая производительность, более низкий удельный расход условного топлива, равномерный и всесторонний нагрев заготовок и т.д.

В работах [1–3 и др.] приведены результаты экспериментальных исследований процессов нагрева металла в печах с шагающими балками и шагающим подом станов 320 и 850 РУП «Белорусский металлургический завод», которые позволили на период исследований (1984–1988 гг.) определить фактические технико-экономические показатели работы печей, а также наметить основные пути совершенствования проектных и существующих теплотехнологий. Следует отметить, что результаты экспериментальных исследований, проведенных в промышленных условиях, являются основой для последующего математического моделирования с целью обоснования и выбора теплотехнологических режимов, обеспечивающих улучшение качества металлопродукции наряду с рациональным использованием топлива.

В 2002 г. на РУП «БМЗ» осуществлена серия промышленных экспериментов, направленная на изучение фактической тепловой работы нагревательных печей станов 320 и 850, эксплуатирующихся в течение достаточно длительного времени без капитального ремонта.

При проведении промышленных экспериментов использована комплексная методика, разработанная в БНТУ под руководством проф. В. И. Тимошпольского и хорошо зарекомендовавшая себя при осуществлении многочисленных экспериментов в условиях функционирования печей

различной конструкции, в том числе и печей с шагающими балками и шагающим подом РУП «БМЗ» [1–3]. Общий вид поперечного сечения заготовки с зачеканенными термопарами приведен на рис. 1, в соответствии с которым фиксируется температура в наиболее представительных точках сечения: грань и ребро верхней поверхности, центр, грань нижней поверхности, температура среды в районе поверхности заготовки.

Учитывая сложность и трудоемкость экспериментальных исследований нагрева заготовок в печах, конструктивные и технологические особенности печей, специфику организации произ-

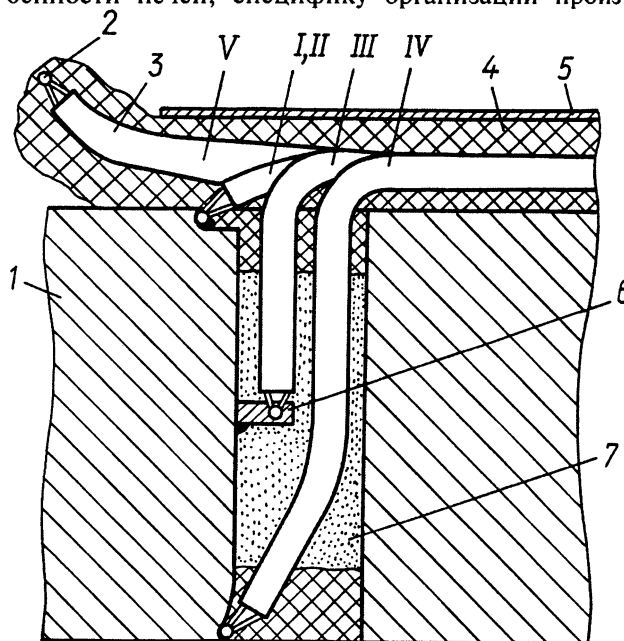


Рис. 1. Схема установки и закрепления термодатчиков: 1 – заготовка; 2 – спай термодатчика; 3 – двухканальная алюминиевая соломка; 4 – каолиновая вата; 5 – уголок или тавр; 6 – планка; 7 – безводный оксид алюминия; I, II – термопары, измеряющие температуры грани и угла (верхняя поверхность); III – центр; IV – грань (нижняя поверхность); V – температура среды

водства, а также результаты ранее проведенных комплексных теплотехнических исследований для условий нагревательных печей станков 320 и 850, в каждом конкретном случае методика имела отличительные особенности.

Экспериментальные исследования процессов нагрева металла в печи стана 320

В работах [1–3], направленных на изучение динамики нагрева мелкосортных непрерывнолитых заготовок сечением 0,125x0,125 м из углеродистых марок сталей, показано, что имеет место практически симметричный нагрев верхней и нижней поверхностей заготовки независимо от производительности печи. Поэтому в конкретном случае при определении фактической динамики нагрева непрерывнолитой заготовки сечением 0,125x0,125 мм ограничили измерением температуры в центре заготовки, как наиболее представительной точки, позволяющей оценить продолжительность нагрева до температур, требуемых технологической инструкцией. С целью детального изучения тепловой работы печи проведены два эксперимента при различной тепловой мощности печи. В обоих случаях применяли хромель-алюмелевые термопары, которые обладают малой инерционностью и сравнительно невысокой стоимостью, но позволяют достичь необходимой точности результатов. Жгут изолировали керамическими бусами и защитной металлической оболочкой, предохраняющей термопару от механических повреждений. В качестве вторичного прибора использовали потенциометр HoneyWell VRX-100.

Во время экспериментов фиксировали все основные показатели тепловой работы нагревательной печи (производительность, температура печного пространства по зонам, расход газа и воздуха, объем и температура охлаждающей воды, температура уходящих газов и др.), что позволило в конечном итоге определить фактические теплотехнические показатели печи в период проведения экспериментальных исследований.

На рис. 2 приведены результаты по термометрированию непрерывнолитых заготовок из стали Ст.3, шаг раскладки заготовок на поду печи 200 мм. Очевидно, что и в первом (рис. 2, а), и во втором (рис. 2, б) случаях наблюдается плавное повышение температуры центра заготовки в методической зоне примерно до 750 °С. При этом скорость повышения температуры в исследуемой точке в методической зоне составляет 18–22 °С/мин (для эксперимента I), 25–30 °С/мин (для эксперимента II). При попадании заготовки в сварочную зону наблюдается скачок температуры, но скорость нагрева не превышает ранее приведенных показателей. Требуемой температуры (1190–1200 °С) заготовка достигает уже в начале томильной зоны. Для оценки разности температур между центром и поверхностью заготовки ис-

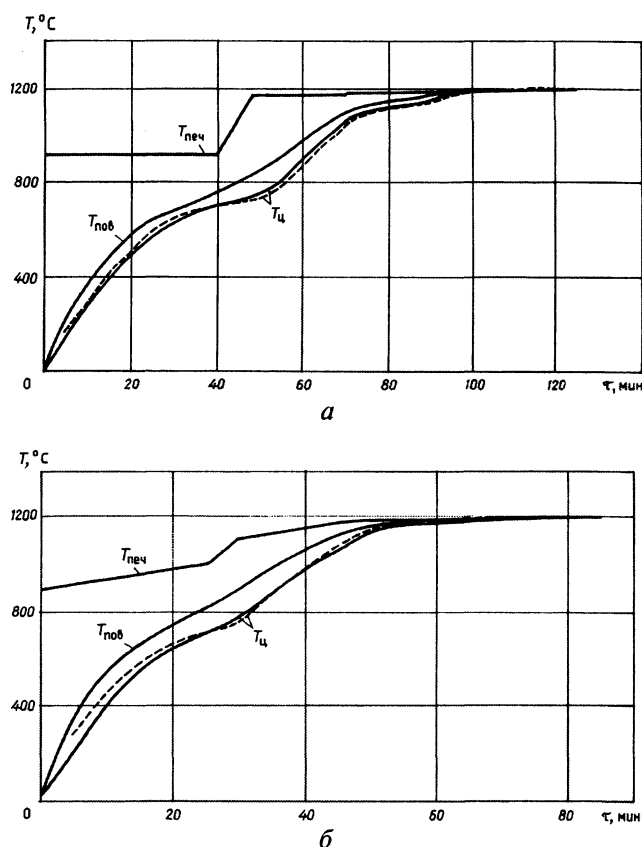


Рис. 2. Изменение температуры в характерных точках сечения заготовки сечением 0,125x0,125 м при нагреве в печи стана 320 (— — — эксперимент; — — — расчет): а — эксперимент I; б — эксперимент II

пользована математическая модель нагрева двумерной призмы, разработанная в КНПЛ ПМП БНТУ [1–3], которая, как показывает сравнение с экспериментами, адекватно описывает изменение температуры заготовки. На рис. 2 приведены также результаты расчета процесса нагрева заготовки из стали Ст. 3 в печи стана 320 при сохранении временных параметров и температурного режима работы печи для экспериментов I и II. Очевидна удовлетворительная сходимость расчетных значений и экспериментальных данных. Максимальная погрешность расчетных значений для обоих случаев не превышает 1–3 %. Согласно результатам расчетов, максимальный температурный перепад по сечению между центром и углом заготовки (рис. 2, а) в методической зоне составляет 60–80 °С, в сварочной — плавно уменьшается с 90 до 30 °С и в томильной зоне температурное поле заготовки практически выравнивается вблизи 1195–1197 °С. На рис. 2, б картина несколько отличается: в методической зоне максимальная разница температур по сечению с 5-й минуты нагрева составляет примерно 140 °С и уменьшается до 85 °С к моменту попадания заготовки в сварочную зону.

С целью анализа теплотехнических характеристик нагревательной печи стана 320 были проведены расчеты фактических тепловых балансов. Методика расчета теплового баланса нагревательной печи подробно изложена в работе [4]. Резуль-

таты расчетов для каждого из экспериментов приведены в табл. 1, 2. Полученные данные показывают, что удельный расход условного топлива составляет 58,2 и 64,3 кг у.т/т, КПД – 48,33 и 43,75 % при производительности 71,7 и 52,2 т/ч соответственно. Анализ технико-экономических

показателей и результатов ранее проведенных комплексных балансовых исследований нагревательной печи стана 320 свидетельствует о ее неудовлетворительном состоянии и необходимости замены газогорелочных устройств и футеровки печи.

Таблица 1. Тепловой баланс нагревательной печи стана 320 (эксперимент I)

Расход топлива 2942,82 м ³ /ч, производительность печи 52,20 т/ч					
Наименование статьи	МВт	%	Наименование статьи	МВт	%
Приход тепла			Расход тепла		
Химическое тепло топлива	27,34	82,73	Тепло, затраченное на нагрев металла	11,96	36,19
Тепло, вносимое подогретым воздухом	4,48	13,55	Потери физического тепла с продуктами горения,ходящими из рабочего пространства печи	10,57	32,00
Тепло, вносимое подогретым топливом	0,00	0,00	Потери тепла от химической неполноты горения топлива	0,46	1,39
Количество тепла, выделяемого при окислении Fe	1,23	3,72	Потери тепла через кладку	3,22	9,74
			Потери тепла с охлажденной водой	5,25	15,89
			Потери тепла с окалиной	0,34	1,04
			Потери через окна	0,00	0,01
			Неучтенные потери	1,23	3,74
Всего	33,04	100,00	Всего	33,04	100
Удельный расход основного топлива $b = 64,28$ кг у.т/т, КПД = 43,75 %					

Таблица 2. Тепловой баланс нагревательной печи стана 320 (эксперимент II)

Расход топлива 3655,04 м ³ /ч, производительность печи 71,65 т/ч					
Наименование статьи	МВт	%	Наименование статьи	МВт	%
Приход тепла			Расход тепла		
Химическое тепло топлива	33,95	82,41	Тепло, затраченное на нагрев металла	16,41	39,84
Тепло, вносимое подогретым воздухом	5,56	13,50	Потери физического тепла с продуктами горения,ходящими из рабочего пространства печи	13,37	32,46
Тепло, вносимое подогретым топливом	0,00	0,00	Потери тепла от химической неполноты горения топлива	0,57	1,39
Количество тепла, выделяемого при окислении Fe	1,69	4,09	Потери тепла через кладку	3,46	8,40
			Потери тепла с охлажденной водой	5,60	13,59
			Потери тепла с окалиной	0,47	1,14
			Потери через окна	0,00	0,01
			Неучтенные потери	1,31	3,17
Всего	41,20	100	ВСЕГО	41,20	100
Удельный расход основного топлива $b = 58,16$ кг у.т/т, КПД = 48,33 %					

Экспериментальные исследования процессов нагрева металла в печи стана 850

При исследовании тепловой работы нагревательной печи стана 850 основное внимание акцентировали на изучении динамики нагрева непрерывнолитых заготовок при организации горячего посада. Это продиктовано следующими обстоятельствами. В условиях действующего производства (на РУП «БМЗ») доля заготовок, нагреваемых в печи стана 850 с горячего посада, составляет 25–35%. Для разработки рациональных режимов нагрева нужна информация о распределении температур в начальный момент времени,

т.е. в момент посада заготовки в печь. В свою очередь температурное поле заготовки определяется продолжительностью транспортировки металла к печи, условиями охлаждения, скоростью разлива и т.д. Как показывают ранее проведенные исследования (например [5, 6]), в конкретном случае необходимо привлечение методов математического моделирования совмещенного теплотехнологического процесса «затвердевание – охлаждение – нагрев». При этом корректность модели совмещенного процесса определяется адекватностью динамике и распределению температур как в процессе затвердевания, так и при нагреве с

горячего посада. В технической литературе, освещающей проблематику экспериментальных исследований процессов нагрева в печах прокатного производства, до настоящего времени не встречалось упоминания об исследовании динамики нагрева непрерывнолитой заготовки в печах с шагающими балками при горячем посаде.

Объектом исследований явилась непрерывнолитая заготовка из стали ШХ15СГ, производство которой освоено на РУП «БМЗ» в 2001–2002 гг. в соответствии с программой импортозамещения [7].

Учитывая изложенное выше, промышленный эксперимент по термометрированию непрерывнолитой заготовки ШХ15СГ при нагреве ее с горячего посада в печи стана 850, проведенный специалистами БНТУ и РУП «БМЗ», представляет большой теоретический и практический интерес.

Работы проводили в соответствии с методикой, специально разработанной для данного эксперимента в КНПЛ «ПМП» БНТУ.

1. В методической зоне печи предварительно было проделано технологическое отверстие в своде диаметром 28 мм и в боковой стене в одной плоскости с ним.

2. Заготовку размером 250х300х5300 мм из стали ШХ15СГ загружали в нагревательную печь и выдерживали в методической зоне в течение 0,5 ч при температуре 1020 °С. Все это время в связи с перевалкой печь работала вхолостую.

3. Затем опытная заготовка подавалась под технологическое отверстие в своде печи, через которое опускались термопары. С помощью крюков через смотровое окно их вставляли в заранее просверленные отверстия.

4. Когда среднемассовая температура заготовки достигала значения 760 °С, что удовлетворяет требованиям ТИ 840-П2-01-2000 при организации горячего посада, ее перемещали к началу методической зоны и начиналась загрузка металла марки GRADE 460. К моменту начала процесса нагрева температурный перепад по сечению заготовки составил 140 °С (рис. 3).

5. Для обеспечения технологии нагрева стали ШХ15СГ температурный режим был выбран минимальным для стали GRADE 460, что совпало с максимальными значениями для ШХ15СГ. Значения температур, полученные на основании показаний штатных термопар, расходы газа и воздуха по зонам печи приведены в табл. 3.

6. Когда заготовка перемещалась к окну выдачи, термопары были отсоединены от потенциометра. При выдаче металла термопары извлекали из заготовки и с помощью крюков вытаскивали из печи. Исследуемая заготовка по рольгангу отправлялась на аварийный стол, где с нее брали пробы окалины.

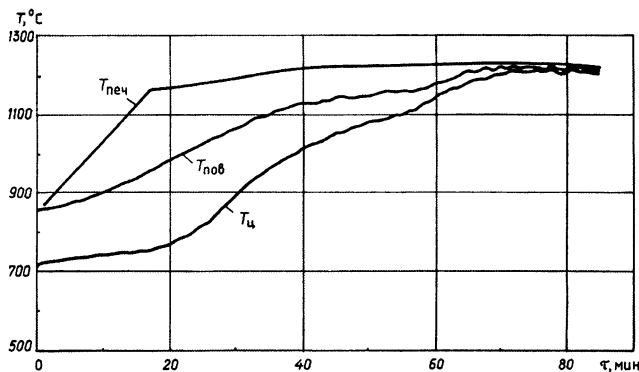


Рис. 3. Изменение температуры в характерных точках сечения заготовки сечением 0,250х0,300 м при нагреве в печи стана 850

Таблица 3. Распределение расходов газа, воздуха и температур по зонам нагревательной печи стана 850

Номер зоны	Температура, °С	Расход газа, м³/ч	Расход воздуха, м³/ч
1	1160	640	6400
2	1215	150	1500
3	1208	300	3800
4	1227	900	9000
5	1235	50	500
6	1240	120	1200
7	1208	130	1250

На рис. 3 представлена экспериментальная динамика изменения температур центра и угла заготовки. В начале нагрева температуры в характерных точках сечения заготовки были следующие: угол — 856 °С, центр — 756 °С. В процессе нагрева температурный перепад вначале возрастает до 270 °С (сварочная зона), а к началу томильной зоны убывает до 50 °С. Максимальная скорость нагрева для поверхности наблюдается в начале сварочной зоны и составляет 7,4 °С/мин,

а для центра в конце сварочной зоны — 13 °С/мин. К середине томильной зоны значение температурного перепада составляет 5 °С. При выдаче из печи заготовка была равномерно прогрета по сечению до температуры 1244 °С. Это свидетельствует о том, что есть возможности сократить время нагрева и тем самым повысить производительность печи без ущерба качеству нагрева. Без сомнения, это следует делать с учетом технологии производства конкретной продукции, и со-

поставляя показатель производительности печи с производительностью прокатного стана.

С целью определения теплотехнических показателей работы печи стана 850 был рассчитан фактический тепловой баланс при нагреве заго-

товки сечением 0,250x0,300 м из стали ШХ15СГ с горячего посада. Результаты расчетов (табл. 4) показали, что удельный расход топлива в нагревательной печи стана 850 находится на уровне 22 кг у. т/т при производительности 98 т/ч.

Таблица 4. Тепловой баланс нагревательной печи стана 850 (горячий посад, сталь ШХ15СГ, заготовки размером 250x300x5300 мм)

Расход топлива 1899,34 м ³ /ч, производительность печи 97,87 т/ч					
Наименование статьи	МВт	%	Наименование статьи	МВт	%
Приход тепла			Расход тепла		
Химическое тепло топлива	17,643	79,47	Тепло, затраченное на нагрев металла	9,12	41,06
Тепло, вносимое подогретым воздухом	3,021	13,61	Потери физического тепла с продуктами горения, сходящими из рабочего пространства печи	6,44	29,03
Тепло, вносимое подогретым топливом	0,000	0,00	Потери тепла от химической неполноты горения топлива	0,30	1,34
Количество тепла выделяемого при окислении Fe	1,536	6,92	Потери тепла через кладку	2,00	9,01
			Потери тепла с охлажденной водой	2,98	13,40
			Потери тепла с окалиной	0,18	0,83
			Потери через окна	0,16	0,71
			Неоцененные потери	1,03	4,62
Всего	22,200	100,00	Всего	22,20	100,00
Удельный расход условного топлива $b = 22,13$ кг с. т/т, КПД = 51,7%					

Очевидно, что при горячем посаде удельный расход условного топлива определяется, в первую очередь, среднемаховой температурой посада заготовки. Поэтому для сравнительной оценки и анализа теплотехнических показателей печи при нагреве непрерывнолитых заготовок из стали ШХ15СГ был рассчитан теоретический тепловой баланс в предположении нагрева металла при холодном посаде. Из табл. 5 видно, что удельный расход условного топлива в этом случае находится на уровне 48,5 кг у.т/т, КПД – 52,2 %.

Используя результаты ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований режимов нагрева металла в печи стана 850 [1–3, 5, 6], следует отметить, что данные значения соответствуют показателям тепловой работы печи стана 850 при нагреве сталей различного сортамента. Вместе с тем в данном случае при использовании методов математического моделирования представляется возможным выбор рациональных теплотехнологий, обеспечивающих снижение топливотребления при достижении требуемого качества нагрева металла.

Таблица 5. Результаты расчета теплового баланса для печи стана 850 РУП "БМЗ" при нагреве заготовок из стали ШХ15СГ размером 250x300 мм.
Холодный посад

Расход топлива 28,24 м ³ /ч, производительность печи 66,34 т/ч					
Наименование статьи	МВт	%	Наименование статьи	МВт	%
Приход тепла			Расход тепла		
Химическое тепло топлива	26,236	81,43	Тепло, затраченное на нагрев металла	13,69	42,48
Тепло, вносимое подогретым воздухом	4,941	15,34	Потери физического тепла с продуктами горения, сходящими из рабочего пространства печи	10,50	32,59
Тепло, вносимое подогретым топливом	0,0	0,0	Потери тепла от химической неполноты горения топлива	0,48	1,50
Количество тепла, выделяемого при окислении Fe	1,042	3,23	Потери излучением через окна	0,16	0,49
			Потери тепла с охлажденной водой	3,37	10,46
			Неоцененные потери	4,02	12,48
Всего	32,219	100,00	ВСЕГО	32,219	100,00
Удельный расход условного топлива $b = 48,52$ кг с. т/т, КПД=52,2 %					

Заключение

Приведены результаты новых экспериментальных исследований нагрева непрерывнолитых заго-

товок с холодного и горячего посадов рядовых и импортозамещающих марок сталей в печах станов 320 и 850 РУП «Белорусский металлургический

завод», эксплуатирующихся в течение длительного времени без капитального ремонта. При этом разработана методика проведения промышленного эксперимента, учитывающая специфику технологии и организации производства при горячем посаде металла, а также технологические особенности газопламенных печей современной конструкции.

Литература

1. Тимошпольский В. И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. Мн.: Навука і тэхніка, 1995.
2. Стальной слиток. В 3 т. Т.3. Нагрев / В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович, И. А. Трусова и др.; Под общ. ред. В. И. Тимошпольского, Ю. А. Самойловича. Мн.: Белорусская наука, 2001.

3. Теплотехнология нагрева высокоуглеродистых марок сталей в печах с механизированным подом РУП «Белорусский металлургический завод» / В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов, И. А. Трусова и др. // Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2001. № 5. С. 71–81.

4. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Стеблов А. Б., Павлюченков И. А. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. Мн.: Выш. шк., 1992.

5. Filippov V.V., Timoshpolsky V.I., Trusova I. A. Belorussian Metallurgical Plant (BMZ) a modern Enterprise for Production and Research. FAI. Austria, 2001.

6. Разработка концепции энергосберегающих совмещенных теплотехнологических процессов в металлургических теплотехнологиях / В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович, В. В. Филиппов и др. // Известия вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2002. № 1. С. 54–61.

7. Комплексная технология производства шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов, А. Б. Стеблов и др. // Литье и металлургия. 2001. № 4. С. 97–102.

Журнал БелОлиМ “ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ” для резидентов РБ ПОДПИСНОЙ КУПОН НА 2003 год

НАШ АДРЕС И БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

Беларусь, 220073, г. Минск,
ул. Тимирязева, 29.

ОДО “Интерфаундри”

Тел.: (017) 223-09-63;

факс: (017) 254-09-19

Р/с 3012007150010 Фрунзенское
отд. ОАО Белпромстройбанка
г. Минска, код 358

УНН 101205300
ОКПО 37441472

Просим оформить подписку на 2003 г.

Стоимость подписки (включая НДС) 50 000 рублей.

Организация _____

Почтовый адрес _____

тел. _____

Факс _____

Кол-во экземпляров по подписке на 2003 г.

Для оформления подписки переведите соответствующую сумму на расчетный счет получателя и направьте заполненный купон вместе с копией платежного поручения по указанному выше адресу.