



The dynamics of dissolving at stirring by argon of carbonic powders, being produced by different suppliers of BMZ, is determined on the basis of computer modeling. The integral dependencies of the carbon changing in melt and of the carburizers mass on period of stirring for powders of different breakup are calculated. The criterion of dissolution of carbonic powder in steel melt is offered.

А. Н. ЧИЧКО, БНТУ, Н. В. АНДРИАНОВ, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, РУП «БМЗ»,
Д. М. КУКУЙ, В. Ф. СОБОЛЕВ, Ю. В. ЯЦКЕВИЧ, О. И. ЧИЧКО, БНТУ

УДК 519:669.27

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСТВОРЕНИЯ В КОВШЕ ПОРОШКОВЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РУП «БМЗ»

Цель настоящей работы – компьютерное моделирование и расчет процесса растворения углеродсодержащих материалов различных промышленных составов в железоуглеродистых расплавах в процессе подачи материала посредством бункерной системы в промышленный разливающий ковш.

В основе модели перемешивания углеродсодержащих материалов и расплавов под действием струи аргона лежит математический формализм, основанный на сеточных методах [1–4], который позволяет рассчитывать поля скоростей, концентраций углерода, плотностей расплава и порошковых материалов в трехмерном пространстве, изменяющейся во времени системы «расплав–порошок». В качестве пространственного объекта моделирования (клеточный автомат) использован промышленный ковш с реальными размерами.

Объемная схема моделируемого процесса показана на рис. 1. Как видно из рисунка, в центр ковша направляются струя расплава и порошкообразная смесь (бункерная засыпка). Струя расплава начинает свое движение при наличии в ковше так называемого «болота», занимающего $\frac{1}{4}$ ковша по высоте. До момента начала выпуска металла из отверстия в нижней части ковша через пористый материал подается аргон в виде пузырьков газа со средним диаметром около 2 мм. Ди-

метр отверстия, через которое подается газ, составляет 130 мм. При этом расход газа 100–300 л/мин. До начала моделирования выпуска расплава из печи проводили моделирование газового перемешивания «болота» с целью получения стационарного или близкостационарного распределения скоростей в объеме «болота» к моменту выпуска расплава из печи.

Для расчета были использованы четыре типа науглероживателя различных поставщиков РУП «БМЗ» (табл. 1–4).

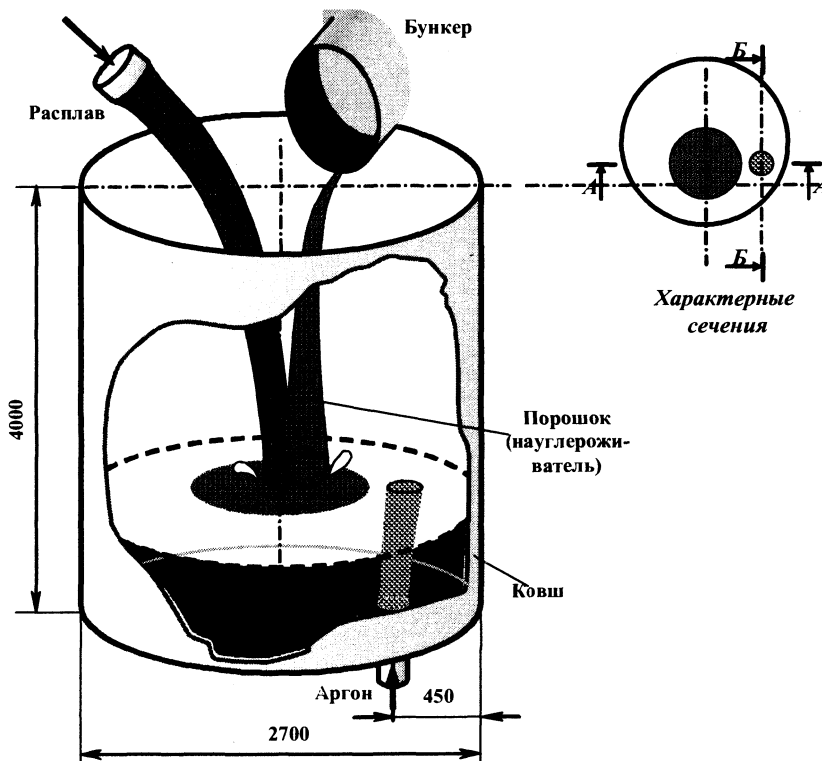


Рис. 1. Объемная схема процесса в ковше (РУП «БМЗ») для моделирования гидродинамического перемешивания

Таблица 1. Фракционный и химический состав науглероживателя типа «А» поставщика ОАО НПП «ТЕХМЕТ» (г. Донецк)

Наименование документа		Номер состава	Химический состав, %				Фракционный состав, %		
			S	W	N ₂	A	<1,0 мм	1,0–5,0 мм	>5 мм
Входной контроль	Проба № 1*	1	0,003	0,1	0,005	0,5	2,8	97,2	0
	Проба № 2*	2	0,01	0,3	0,02	0,2	0,2	98,7	1,1
	Проба № 3*	3	0,02	отс.	0,03	0,5	0,1	99,8	0,1

Таблица 2. Фракционный и химический состав науглероживателя типа «А» поставщика ЗАО «ТЕХНОГРАФИТ» (г. Вязьма)

Наименование документа		Номер состава	Химический состав, %				Фракционный состав, %		
			S	W	N ₂	A	<1,0 мм	1,0–5,0 мм	>5 мм
Входной контроль	Проба № 1	4	0,01	отс.	0,01	0,1	6,0	81,8	12,2
	Проба № 2*	5					7,2	82,9	9,9

Таблица 3. Фракционный и химический состав науглероживателя типа «А» поставщика ЗАО НПП «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ» (г. Челябинск)

Наименование документа		Номер состава	Химический состав, %				Фракционный состав, %		
			S	W	N ₂	A	<1,0 мм	1,0–5,0 мм	>5 мм
Входной контроль		6	0,01	0,7	0,03	0,3	5,0	93,0	2,0

Таблица 4. Фракционный и химический состав науглероживателя типа «А» поставщика ООО НПФ «МЕТАЛЛОН» (г. Осиповичи)

Наименование документа		Номер состава	Химический состав, %				Фракционный состав, %		
			S	W	N ₂	A	< 1,0 мм	1,0+5,0 мм	> 5,0 мм
Входной контроль		7	0,01	0,8	0,01	0,7	1,4	87,5	11,1

Каждый тип науглероживателя имеет свое гауссово распределение по частицам, которое определяется технологией его получения (рис. 2). Так, фирма ОАО НПП «ТЕХМЕТ» изготавливает порошки, имеющие высокую долю частиц размером 1–5 мм (проба 1–97,2%, проба 2–98,7%, проба 3–99,8%). В то же время для порошка фирмы ЗАО «ТЕХНОГРАФИТ» характерно гораздо меньшее количество средних частиц, но большое количество частиц менее 1 мм (проба 1–6%, проба 2–7,2%) и более 5 мм (проба 1–12,2%, проба 2–9,9%). Порошок фирмы ЗАО НПП «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ» имеет промежуточное распределение по частицам, характерное для порошков фирм «ТЕХМЕТ» и «ТЕХНОГРАФИТ». Поскольку распределение частиц зависело от партии (различные пробы), то в расчетах по определению эффективности растворения порошка в расплаве использовали усредненный фракционный состав. В таблицах указаны номера составов, которые использованы при построении ги-

стограмм. По этому усредненному составу и были отобраны исходные данные для моделирования процесса растворения науглероживателей, некоторые из них представлены на рис. 3. В дальнейшем используемые порошки будут обозначаться как А₁ (поставщик ОАО НПП «ТЕХМЕТ», г. Донецк), А₂ (поставщик ЗАО «ТЕХНОГРАФИТ», г. Вязьма), А₃ (поставщик ЗАО НПП «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ», г. Челябинск), А₄ (поставщик ООО НПФ «МЕТАЛЛОН», г. Осиповичи). На данном этапе исследования каждый фракционный состав каждого порошка разбивали на пять интервалов в зависимости от числа и размеров частиц. Так, порошок А₁ фирмы ЗАО НПП «ТЕХМЕТ» характеризуется следующим гранулометрическим составом: 1% – фракция 0–1,2 мм; 32% – фракция 1,2–2,4 мм; 34,6% – фракция 2,4–3,6 мм; 32% – фракция 3,6–4,8 мм; 0,4% – фракция 4,8–6 мм. Аналогично представлен фракционный состав остальных порошков (табл. 5).

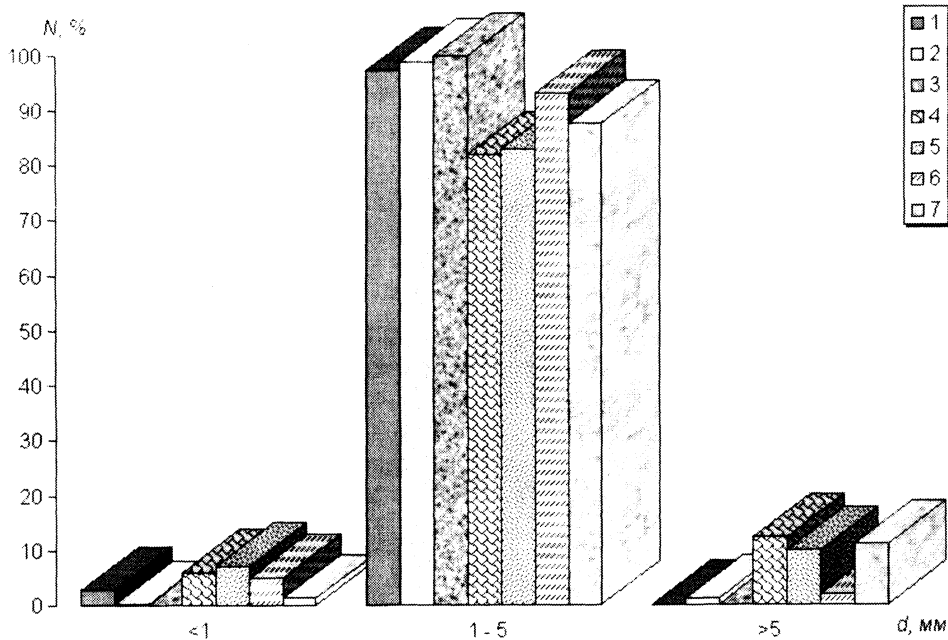


Рис. 2. Частотные распределения числа частиц по их размерам для углеродсодержащих порошков $A_1(1, 2, 3)$, $A_2(4, 5)$, $A_3(6)$, $A_4(7)$, используемых в сталеплавильном производстве РУП «БМЗ»

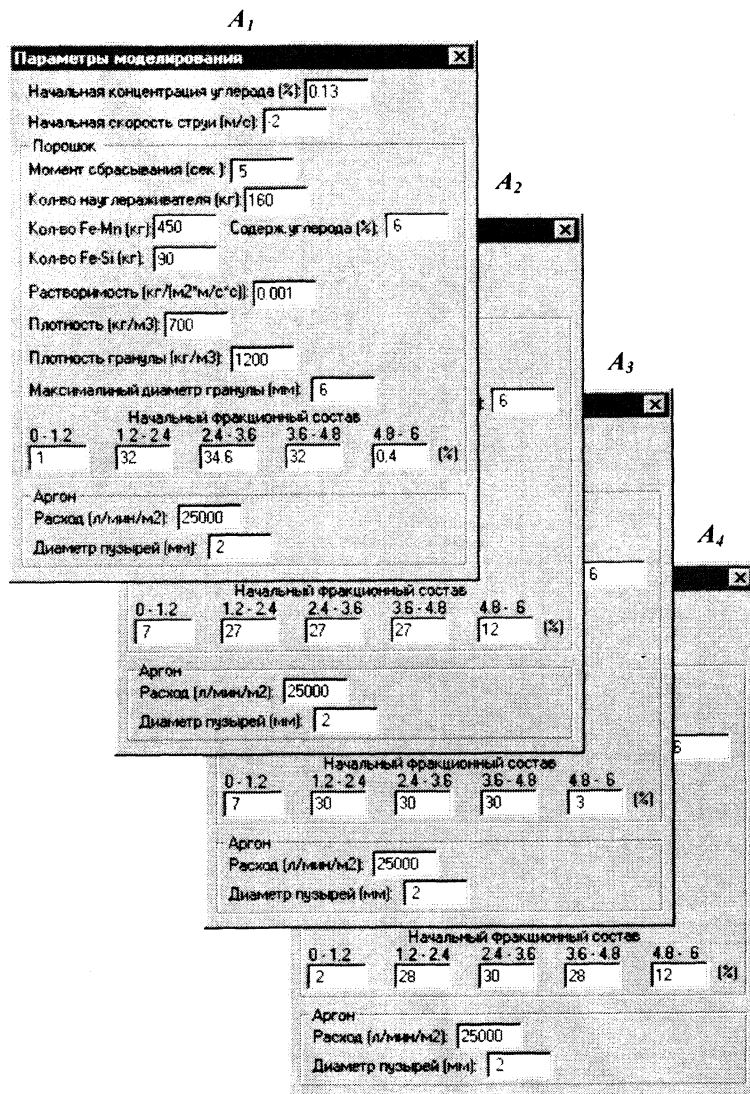


Рис. 3. Исходные данные для моделирования растворения науглероживателей с тремя различными фракционными составами от поставщиков: A_1 – ОАО НПП «ТЕХМЕТ»; A_2 – ЗАО «ТЕХНОГРАФИТ»; A_3 – ЗАО НПП «УРАМЕТАЛЛИНВЕСТ»; A_4 – ООО НПФ «МЕТАЛЛОН»

Таблица 5. Оценка скорости растворения науглерожителей различных фракционных составов в стальном расплаве

Порошок	Фракционный состав (P_i)					Критерий ($\Sigma P_i/W_i$)
	0–1,2 мм	1,2–2,4 мм	2,4–3,6 мм	3,6–4,8 мм	4,8–6,0 мм	
A ₁	1	32	34,6	32	0,4	437,8
A ₂	7	27	27	27	12	440
A ₃	7	30	30	30	3	470
A ₄	2	28	30	28	12	406
Вклад фракции (W_i)	11	7	4	2	1	

На рис. 4 представлены изменение растворимой массы введенного порошка в расплаве, а также кривая увеличения концентрации углерода (динамика процесса науглероживания) во времени. В качестве порошков использованы четыре фракционных состава. Изменение

массы всех четырех порошков во времени протекает по линейному закону. Причем наиболее интенсивно растворяется порошок A₃. Второе место по скорости растворения занимает порошок A₂. Третье и четвертое места – порошки A₁ и A₄.

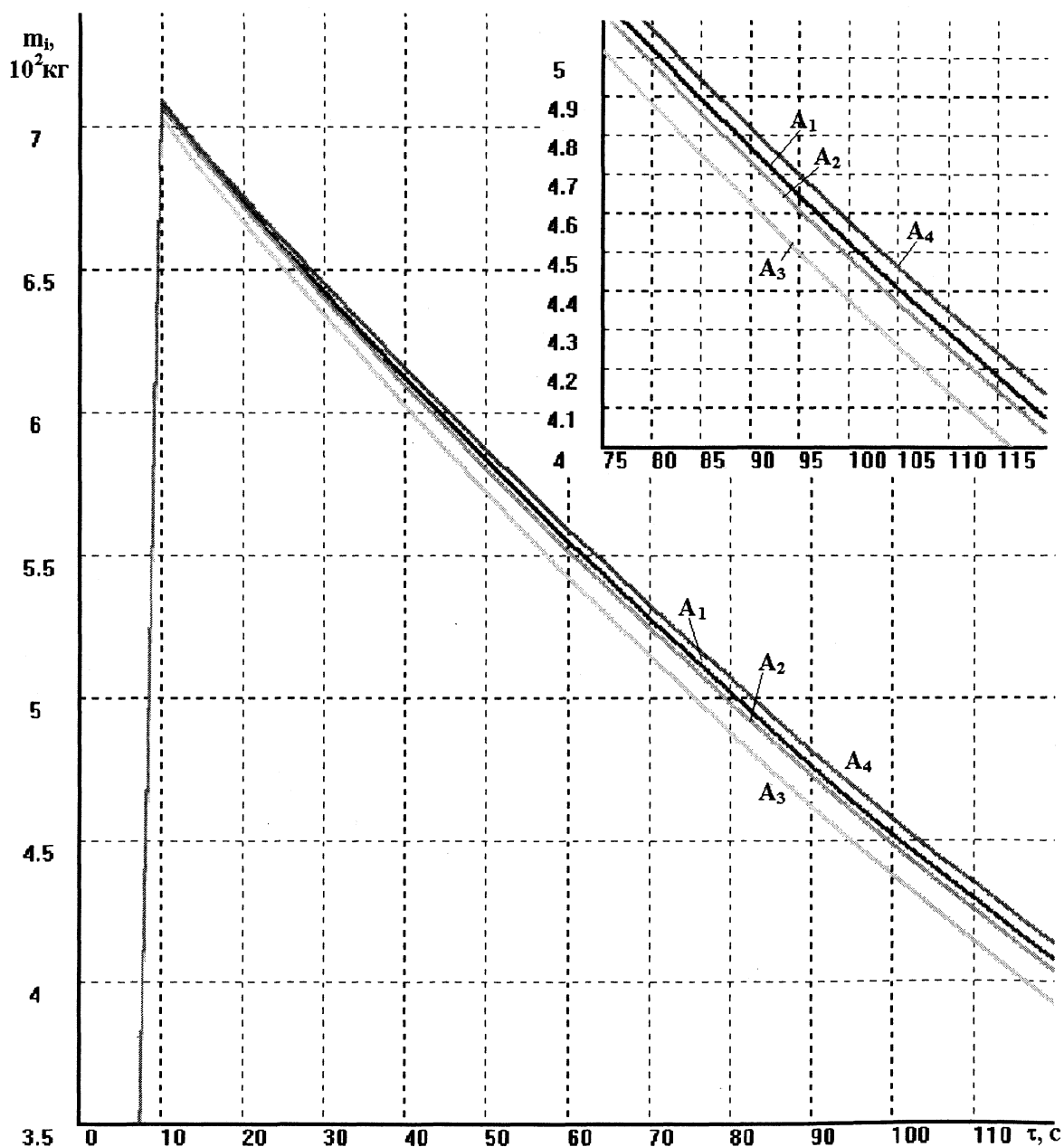


Рис. 4. Изменение массы (растворение) введенного порошка в процессе перемешивания для порошков: A₁ – ОАО НПП «ТЕХМЕТ»; A₂ – ЗАО «ТЕХНОГРАФИТ»; A₃ – ЗАО НПП «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ»; A₄ – ООО НПФ «МЕТАЛЛОН»

На рис. 5–8 показано изменение массы отдельных фракций для порошков A_1 – A_4 соответственно. Эти графики в некоторой степени объясняют различие в скоростях растворения порошков. Так, порошок A_4 имеет большую массу самой крупной фракции по сравнению с порошком A_1 , поэтому растворяется медленнее (рис. 5, 8). Порошок A_2 по сравнению с A_1 , хоть и имеет большую массу крупной фракции, но значительная масса мелкой фракции позволяет ему растворяться быстрее порошка A_1 (рис. 5, 8), что в свою очередь дает возможность сделать вывод о нелинейной зависимости между размерами гранул и скоростью растворения. Порошок A_3 по сравнению

с A_2 имеет более низкую массу крупных фракций, поэтому растворяется быстрее A_2 (рис. 6, 7). Детальный анализ, проведенный при выполнении этой работы, позволил выработать интегральный критерий оценки скорости растворения порошка в зависимости от фракционного состава. При этом каждой фракции ставится в соответствие некоторая величина (параметр W_i), характеризующая вклад данной фракции в скорость растворения. Эти величины умножаются на массы (или процент) соответствующих фракций (P_i), а результаты складываются:

$$K = \sum_{i=1}^5 W_i P_i .$$

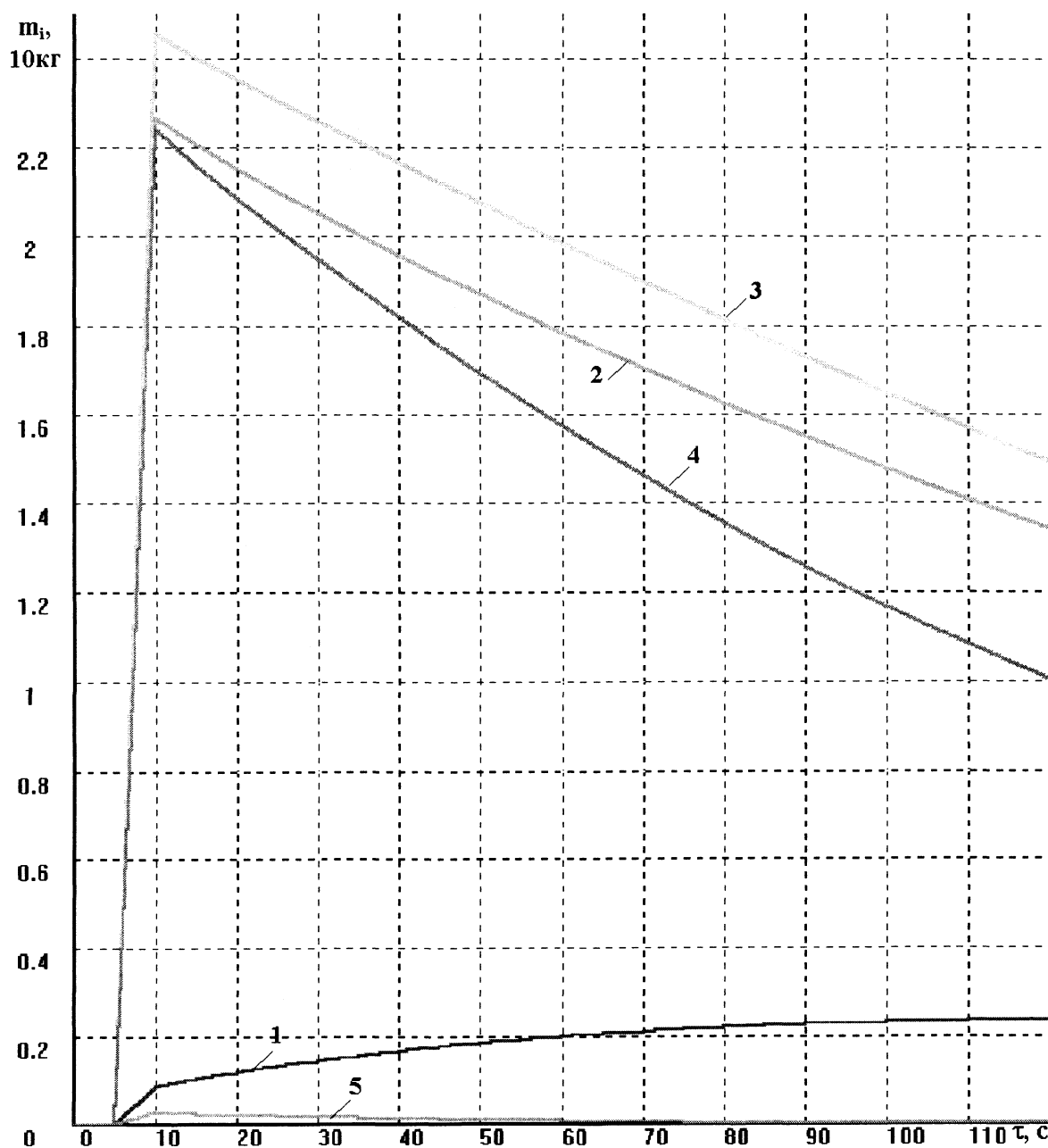


Рис. 5. Изменение массы отдельных фракций (1 – 0–1,2 мм; 2 – 1,2–2,4; 3 – 2,4–3,6; 4 – 3,6–4,8; 5 – 4,8–6,0 мм) в процессе растворения порошка A_1

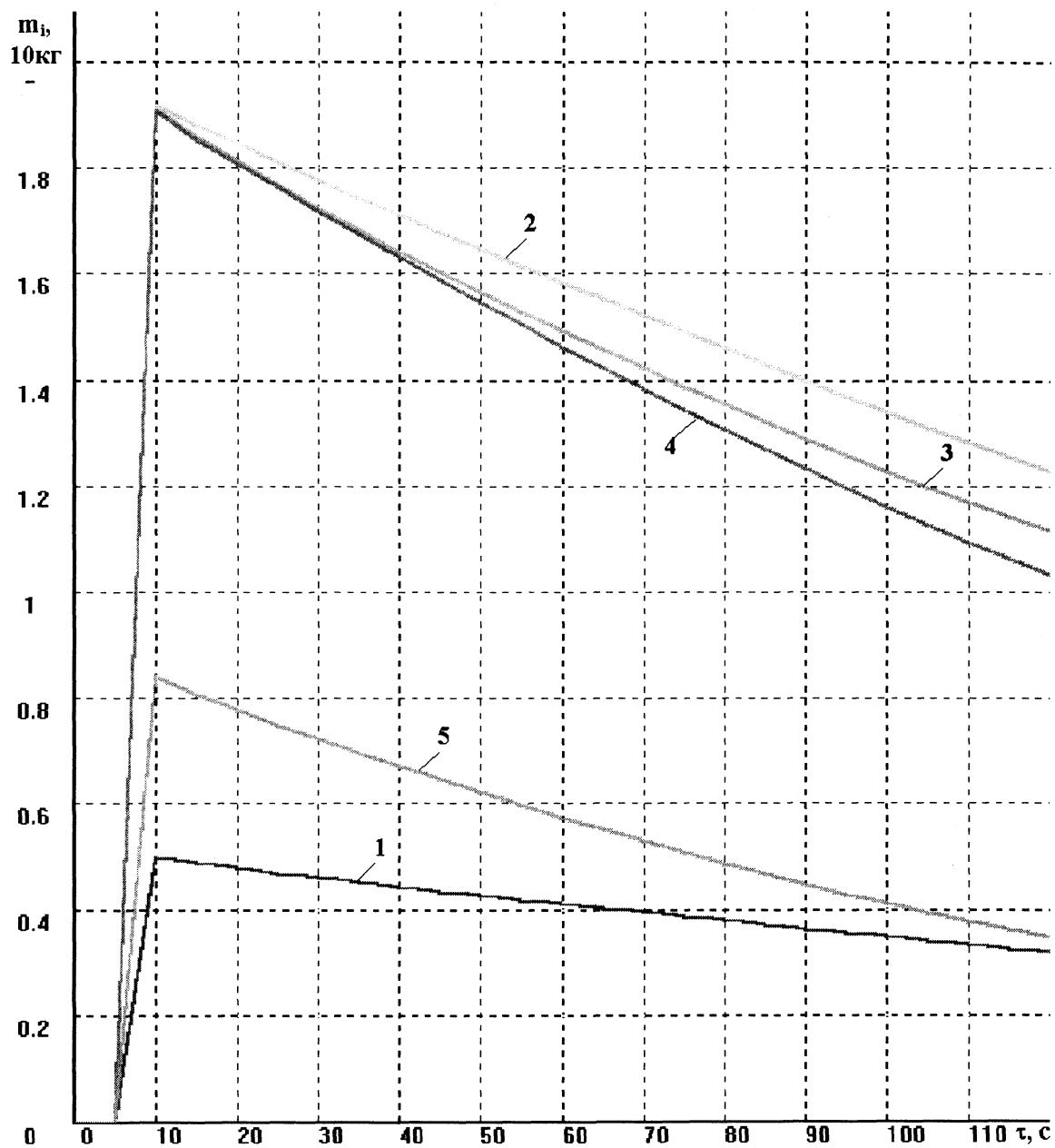


Рис. 6. Изменение массы отдельных фракций (1 – 0–1,2 мм; 2 – 1,2–2,4; 3 – 2,4–3,6; 4 – 3,6–4,8; 5 – 4,8–6,0 мм) в процессе растворения порошка A_2

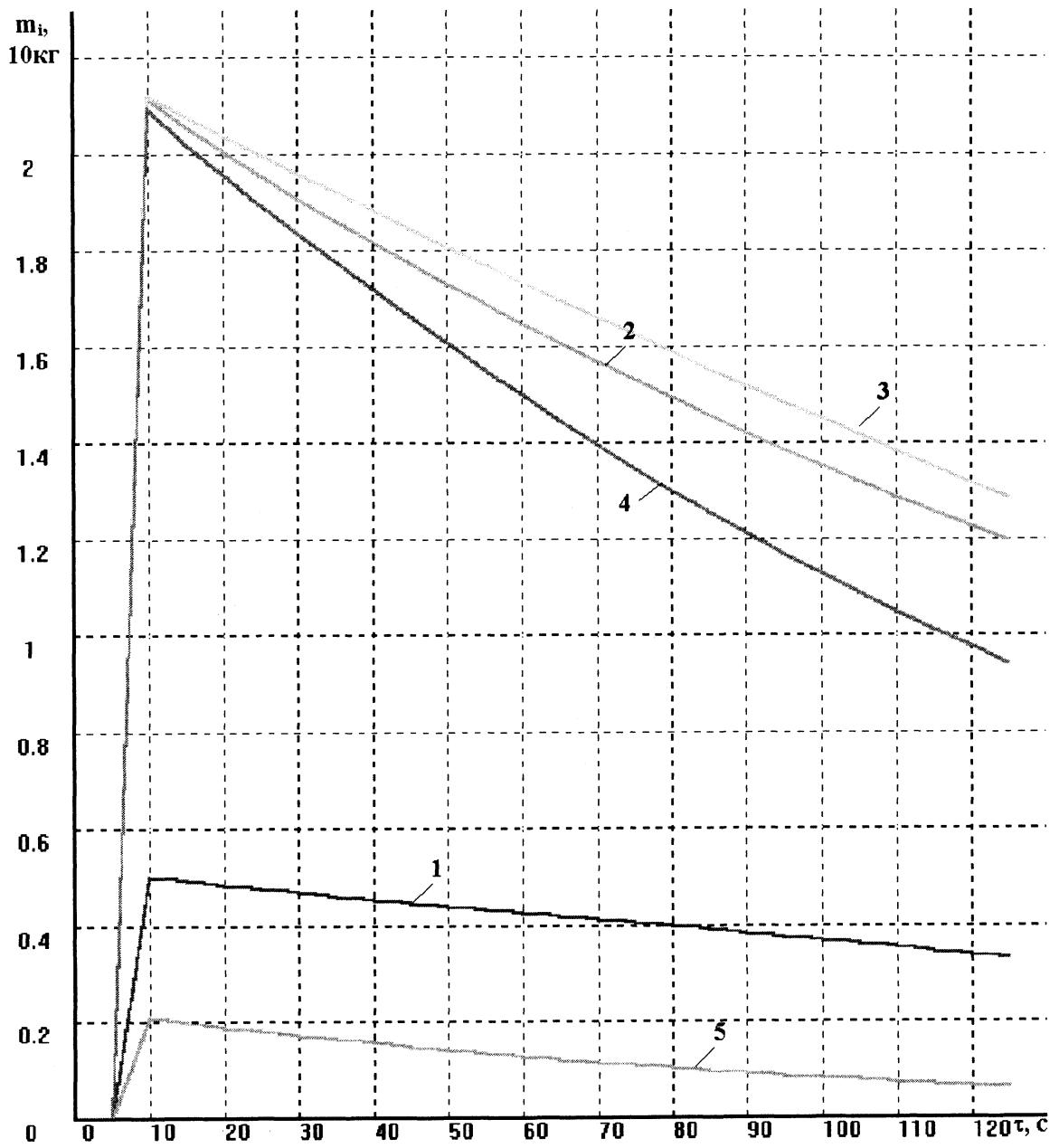


Рис. 7. Изменение массы отдельных фракций (1 – 0–1,2 мм; 2 – 1,2–2,4; 3 – 2,4–3,6; 4 – 3,6–4,8; 5 – 4,8–6,0 мм) в процессе растворения порошка A_3

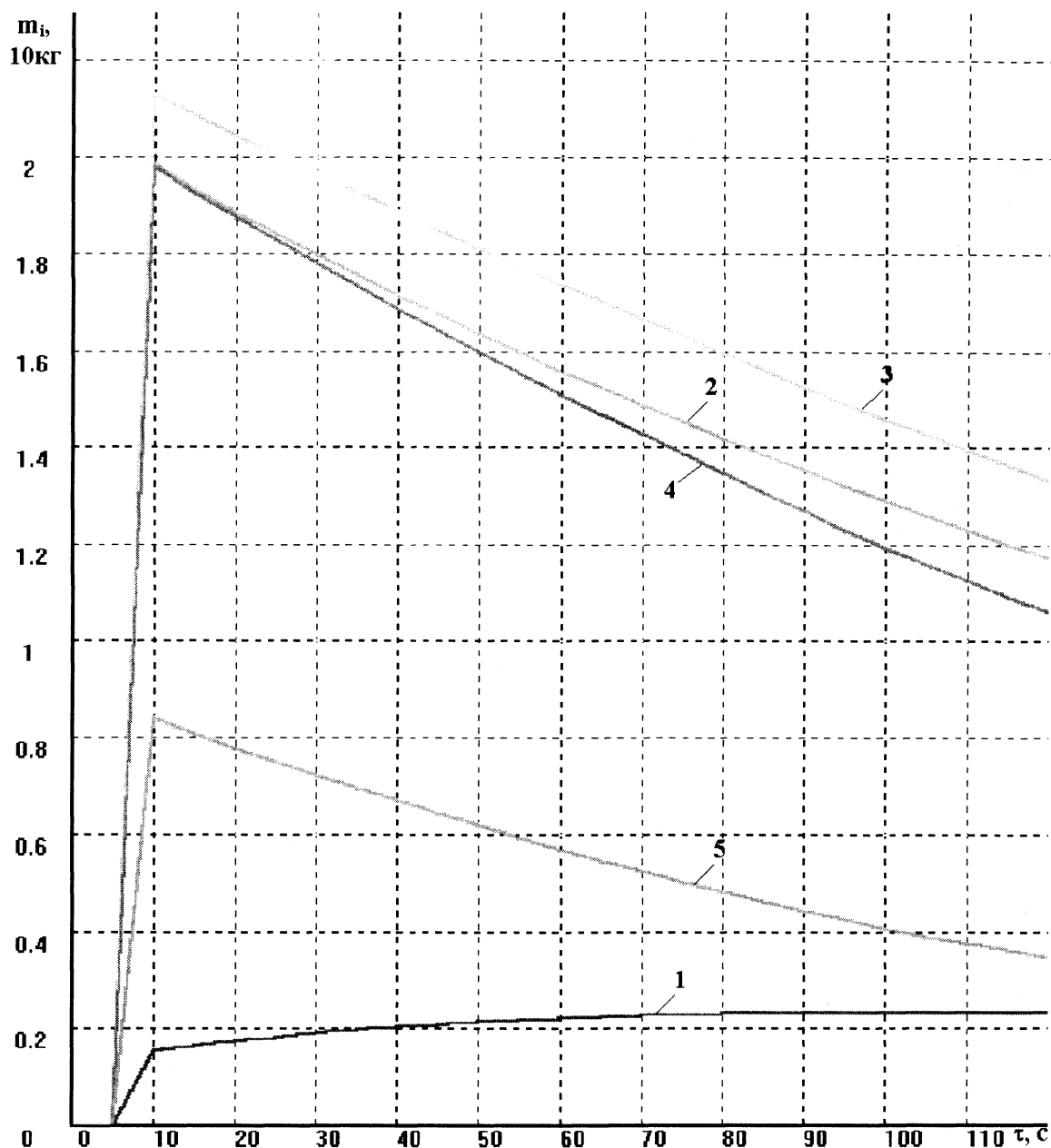


Рис. 8. Изменение массы отдельных фракций (1 – 0–1,2 мм; 2 – 1,2–2,4; 3 – 2,4–3,6; 4 – 3,6–4,8; 5 – 4,8–6,0 мм) в процессе растворения порошка A_4

Чем больше величина K , тем больше скорость растворения порошка в расплаве. При этом учитывается парциальный вклад каждой фракции в составе порошка. Пример использования критерия для науглероживателей от разных поставщиков приведен в табл. 5.

Таким образом, проведенные вычислительные эксперименты по моделированию растворения порошка в условиях гидродинамического перемешивания расплавом показывают широчайшие возможности компьютерного моделирования нестационарных процессов, протекающих в системе «расплав–порошок». Это позволяет визуализировать процессы растворения углерода при перемешивании расплава и порошка на каждом временном промежутке обработки расплава. В процессе

перемешивания возможен как послойный, так и интегральный анализ распределения углерода в ковше любой пространственной конфигурации. Для разработчиков технологического процесса внепечной обработки открываются широкие возможности для проектирования ковшевого оборудования, предназначенного для приготовления сталей, используемых в металлургическом производстве.

Выводы

На основе компьютерного моделирования определена динамика растворения при перемешивании аргоном углеродсодержащих порошков, изготавливаемых различными поставщиками РУП «БМЗ» – «ТЕХМЕТ» (А₁), ЗАО «ТЕХНОГРА-

ФИТ» (A₂), ЗАО НПП «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ» (A₃), ООО НПФ «МЕТАЛЛОН» (A₄) в расплаве от времени перемешивания. Рассчитаны интегральные зависимости изменения углерода в расплаве и массы науглероживателей от времени перемешивания для перечисленных выше промышленных порошков. Наибольшая скорость растворения в расплаве посредством бункерной системы установлена для порошка фирмы «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ», наименьшая — для порошка фирмы «МЕТАЛЛОН». Установлены зависимости, показывающие изменение скорости растворения каждого порошка во времени при постоянном увеличении уровня расплава и постоянном расходе аргона. Для каждого порошка приведены кривые растворения отдельных фракций. Предложен критерий растворимости порошка в стальном расплаве, который

рассчитан для порошков различных поставщиков «ТЕХМЕТ», «ТЕХНОГРАФИТ», «УРАЛМЕТАЛЛИНВЕСТ», «МЕТАЛЛОН».

Литература

1. Чичко А.Н., Соболев В.Ф., Лихоузов С.Г. Комплекс программных средств «ПРОЛИТ» для моделирования процессов течения и охлаждения расплавов // Программные продукты и системы. 2002. №4. С. 47–48.
2. Чичко А.Н. Компьютерные системы моделирования физических процессов // Вестн. БНТУ. 2003. № 2. С. 42–48.
3. Чичко А.Н., Лихоузов С.Г. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме // Докл. НАН Беларуси. 2001. Т.45. №4. 2001. С. 110–114.
4. Чичко А.Н., Андрианов Н.В., Терлецкий С.В. и др. Компьютерная гидродинамика перемешивания расплава и порошковых углеродсодержащих материалов в ковше // Литье и металлургия. 2004. № 3. С. 60–67.

Выставки, съезды, конференции, семинары

30.05.2005–03.06.2005

"ЛИТЭКСПО'2005" 2-я Международная специализированная выставка литейного оборудования и оборудования для производства штампов, пресс-форм, инструмента и обработки листа. Организаторы — MVK, ассоциация производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент".

15–18.03.2005

"МЕТАЛЛУРГИЯ" Сырье, технологические процессы, оборудование, готовая продукция (7-я специализированная выставка). г. Санкт-Петербург (Россия), выставочный комплекс "Ленэкспо" в Гавани. Организатор — Выставочное объединение "РЕСТЭК", т./ф.: +7 (812) 320-80-90; E-mail: metal@restec.ru.

15–18.03.2005

"ЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО" Исходные материалы, технологии, оборудование, готовая продукция (5-я специализированная выставка). г. Санкт-Петербург (Россия), выставочный комплекс "Ленэкспо" в Гавани. Организатор — Выставочное объединение "РЕСТЭК", т./ф.: +7 (812) 320-80-90; E-mail: metal@restec.ru.

17–18.03.2005

"ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА" (Международная научно-практическая конференция и выставка). г. Запорожье (Украина). Организатор — Запорожская торгово-промышленная палата, т./ф.: +38 (0612) 13-50-26, 13-51-67; E-mail: expo@cci.zp.ua.

17–20.05.2005

"МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ — 2005" (XIII Международная специализированная выставка). г. Запорожье (Украина). Организатор — Запорожская торгово-промышленная палата, т./ф.: +38 (0612) 13-50-26, 13-51-67; E-mail: expo@cci.zp.ua.

1–5.06.2005

"3-Й МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ САММИТ В МОСКВЕ" (Тема дискуссии — "Сталь и сырьевые ресурсы мира"). г. Москва (Россия), отель "Рэдиссон-Славянская".

6–10.06.2005

"ЛИТЬЕ-2005" (Специализированная выставка). г. Киев (Украина), ФТИМС НАН Украины. По всем вопросам обращаться в Ассоциацию литейщиков Украины, т.: +38 (044) 424-03-50, 465-63-21.

21–24.06.2005

"МЕТАЛЛУРГИЯ-ЛИТМАШ 2005" (Международная выставка машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности). г. Москва (Россия), Красная Пресня, ЗАО "Экспоцентр". По всем вопросам обращаться — ООО "Мессе Дюссельдорф Москва", т.: +7 (095) 256-73-95, 255-27-36, 205-00-00; ф.: +7 (095) 205-72-07; E-mail: GaluninaH@messed.ru.

21–24.06.2005

"АЛЮМИНИЙ/ЦВЕТМЕТ 2005" (Международная выставка по алюминию, цветным металлам, материалам, технологиям и продукции). г. Москва (Россия), Красная Пресня, ЗАО "Экспоцентр". По всем вопросам обращаться — ООО "Мессе Дюссельдорф Москва", т.: +7 (095) 256-73-95, 255-27-36, 205-00-00; ф.: +7 (095) 205-72-07; E-mail: GaluninaH@messed.ru.