Инженерные Решения

черная металлургия

N2_2012

Печь фирмы CMI на стане 2000 в Липецке

СТР. 26

www.eurasmet.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Инженерные Решения

черная металлургия

N2 (02)_2012

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА 2

ПАНОРАМА

ВЛАДИМИР КАТУНИН
Расход основных материалов в российской черной металлургии в 2011 году 4

ЕВГЕНИЙ ШУР
Рельсы для низких температур 8

К.ЛАДУБЕК, Э.МАГЕЛЬ
Зимняя эксплуатация железных дорог. Опыт Канады 12
Промышленная эксплуатация агрегата ITmk 3 15

АГЛОДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ВЛАДИМИР ПАРШАКОВ, АНДРЕЙ ЧЕВЫЧЕЛОВ, АНДРЕЙ ПОЛИНОВ, МИХАИЛ ГИБАДУЛИН, ИВАН ПРОХОРОВ, ПАВЕЛ ДОВЖЕНКО, АЛЕКСЕЙ КРАСНОБАЕВ
Повышение эффективности доменной плавки за счет технологического насыщения АСУ ТП 16

АЛЕКСЕЙ ТРЕТЯК
Семинар в Китае: современные решения в аглодоменном производстве 22

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

АЛЕКСАНДР КУКЛЕВ, ВЛАДИМИР ТИНЯКОВ
Совершенствование процессов непрерывной разливки стали с участием российского инжиниринга 24

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ЛЮДОВИК ФЕРРАНД, ПАТРИК ДЮБУА, ЛЮК МАЛЬПАС
Печи нагрева OptimFlame® 26

АЛЕССАНДРО ДЕЛЛА РОККА, МАССИМИЛИАНО ФАНТУЦЦИ, ВАЛЕРИО БАТТАЛЬЯ, ЭНРИКО МАЛЬФА
Передовые методы проектирования печей с вращающимся подом 28

ЛИЧНАЯ ТЕТРАДЬ

АЛЕКСАНДР КАРПОВ
Люди из будущего рядом с нами 34

ИВАН ЛУНГУ
Инструменты накопления работают даже в кризис 36

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ
Энциклопедия знаний о рельсах

ОСНОВАТЕЛИ
Международный промышленный журнал «Металлы Евразии»
Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии «Черметинформация»

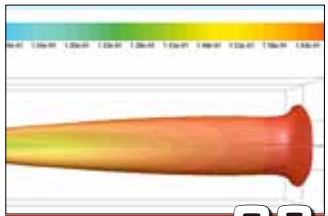
РЕДАКЦИЯ
Юрий Снитко – главный редактор
Виктор Федоров – замесититель главного редактора

РЕДАКТОРЫ НАПРАВЛЕНИЙ:
Владимир Катунин – экономика
Алексей Третяк – агломерационное и доменное производство
Леонид Годик – сталеплавильное производство
Александр Куклев – разливка стали
Александр Трайно – прокатное производство
Аркадий Германский – энергетика металлургического производства
Александр Овчинников – международные отношения

ИЗДАТЕЛЬ
ООО Национальное обозрение
Сергей Опошнянский – генеральный директор
Евгений Хохлов – директор по развитию

Любовь Вольская – дизайн и верстка
Ринат Измайлов – распространение и подписка
Надежда Ратанова – выпуск журнала
Виктория Опошнянская – менеджер по рекламе

КОНТАКТЫ
Для авторов статей
+ 7 (495) 718-07-10
main@chermetinfo.com
Для рекламодателей
+ 7 (495) 784-69-71 nr@eurasmet.ru
Распространение и подписка
+7 (495) 784-69-71
izmaylov@eurasmet.ru



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

У вас в руках второй номер журнала «Инженерные решения». После выхода первого номера мы убедились, что концепция журнала – знакомство читателей с передовыми техническими решениями, реализованными как в России, так и за рубежом, – оказалась востребованной. Разошелся весь тираж. По этой причине было принято решение подготовить журнал и в электронной версии. С ним можно ознакомиться на сайтах «Черметинформация» и «Металлы Евразии». Если и второй номер журнала повторит успех первого, то в следующем, 2013 году будем распространять как бумажную, так и электронную версию на постоянной основе.

Отзывы читателей показали, что наиболее востребованными являются материалы о возможности снижения операционных издержек, в первую очередь в агломерационном и доменном производствах. Это неудивительно, поскольку себестоимость чугуна в значительной степени определяет себестоимость готовой продукции.

Сравнительному анализу эффективности использования материальных и энергетических ресурсов на предприятиях отрасли посвящена статья В.В. Катунина. Учитывая важность проблемы, планируем статьи этого направления публиковать постоянно.

В соответствии с заявленной позицией журнал не только предоставляет свои страницы для обмена передовым опытом, но и организует взаимодействие специалистов также в рамках встреч, семинаров и т. д.

Так, по инициативе ОАО «Черметинформация» и компании Minmetals (Китай) с участием представителей предприятий холдинга «Метинвест» (Украина): ОАО «Азовсталь», ОАО «Енакиевский металлургический завод» и ОАО «Запорожсталь» в декабре 2011 года состоялся семинар в КНР по аглодоменному производству. Тема проведенного семинара звучит так: «Изучение опыта китайских предприятий по повышению эффективности работы доменных цехов и возможности его использования при проведении капитальных ремонтов доменных печей и реконструкции доменных цехов предприятий стран СНГ». Краткий отчет об итогах поездки представлен в журнале А.А. Третяком.

В ряде статей авторы предлагают свои разработки для внедрения на аналогичных агрегатах других предприятий. Практический интерес представляет статья В.М. Паршакова с соавторами по повышению эффективности доменной плавки за счет модернизации АСУ ТП на доменных печах ОАО «ММК». О своем опыте в области непрерывной разливки стали рассказывают генеральный директор ЗАО «КОРАД» А.В. Куклев и ведущий научный сотрудник этой же компании В.В. Тиняков ....

На двух российских комбинатах (НКМК и НТМК) производятся железнодорожные рельсы, на третьем (ЧМК) планируется начать их производство в следующем году. Российские железные дороги отличаются высокой грузонапряженностью. Добавим к этому, что они находятся в зонах наиболее холодного климата по сравнению с железными дорогами других стран мира. По этим причинам в журнале помещена статья Е.А. Шура об изменении свойств рельсовой стали и рельсов при понижении температуры, влиянии температуры на повреждаемость рельсов в эксплуатации, о новых испытаниях и опыте России по производству рельсов в северном исполнении. Здесь же помещен реферат статьи специалистов К. Ладубека и Э. Магеля из центра технологии транспортировки по поверхности в Национальном научно-исследовательском совете Канады об опыте зимней эксплуатации канадских железных дорог. Эта статья может привлечь также внимание работников железнодорожного транспорта.

В номере помещена статья финансового консультанта И. Лунгу о возможных направлениях инвестирования личных средств в условиях продолжающегося финансового кризиса. Публикация материала этого автора в первом номере журнала вызвала интерес. Надеемся, что продолжение темы также даст полезную информацию нашему читателю.

В заключение отметим, что ощущается некоторый дефицит статей проблемных, дискуссионных. Готовы предоставить страницы журнала желающим высказаться по ключевым проблемам развития металлургии.

Юрий Снитко

Главный редактор журнала «Инженерные решения»

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ»

ОСНОВАН ПО ИНИЦИАТИВЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ» И МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЖУРНАЛА «МЕТАЛЛЫ ЕВРАЗИИ».

В 2013 ГОДУ К ВЫПУСКУ ПЛАНИРУЮТСЯ ЧЕТЫРЕ НОМЕРА.

СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ – 8 000 РУБ.

НДС НЕ ОБЛАГАЕТСЯ.

ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСКИ МОЖНО НАПРАВИТЬ ЗАЯВКУ В СВОБОДНОЙ ФОРМЕ И РЕКВИЗИТЫ КОМПАНИИ-ПОДПИСЧИКА НА ЭЛЕКТРОННЫЙ АДРЕС SUBSCRIBE@EURASMET.RU

ТЕЛЕФОН ДЛЯ КОНТАКТОВ: +7 (495) 784-69-71

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
METALWEB.RU

Зал А
Стенд
1А79

Сбор, обработка и публикация в интернете информации о металлургии.

Металлургические предприятия
ГОКи, Мет. комбинаты, Сталепрокатные заводы, Металлоторговые компании, Литейные заводы, Механические заводы...

Новости металлургии
С 13 по 16 ноября 2012 года в Москве в павильонах № 75, 69 ВВЦ пройдет выставка "Металл-Экспо 2012"

Металлургические стандарты
ГОСТы и ТУ на металлы, металлические изделия, сырье и оборудование.

Металлургическая продукция
Простой прокат, Фасонный профиль, Лист, Полоса, Метизы, Трубы, Нержавейка, Цветной прокат, Трубопроводная арматура...

Металлургическое сырье
Ферросплавы, Лигатуры, Огнеупоры, Сплавы, Рудное сырье, Чугун, Стали, Аноды, Металлолом, Металлические порошки...

Металлургическое оборудование
Металлообрабатывающие станки, Литейное оборудование, Шахтное оборудование, Карьерное оборудование, Инструменты...

Металлообработка
Токарная обработка, Фрезерная обработка, Гибка металла, Холодная штамповка, Вытяжка, Волочение, Вырубка...

Отрасли металлургии
Железорудная, Чугунная, Ферросплавная, Сталепрокатная, Метизная, Алюминиевая, Медная, Титаномагниевая...

Металлы
Железо, Алюминий, Медь, Никель, Кобальт, Титан, Марганец, Олово, Свинец, Золото, Серебро, Платина...

www.metalweb.ru info@metalweb.ru (343) 290 - 20 - 72

РАСХОД ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИЙСКОЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В 2011 ГОДУ

ТЕКСТ ВЛАДИМИР КАТУНИН, *заместитель генерального директора ОАО «Черметинформация»*

Таблица 1. **Удельный расход основных материалов на производство 1 т чугуна, стали и проката в целом по отрасли черная металлургия, кг**

Материалы и технологическое топливо	2010 г.	2011 г.	Изменение
При производстве чугуна			
Железорудная часть шихты:	1643,4	1643,9	+0,5
руда железная доменная	13,0	13,6	+0,6
агломерат	1163,9	1173,1	+9,2
окатыши	466,5	457,2	– 9,3
Металлодобавки	15,3	16,3	+1,0
Скиповый кокс (сухой)	439,8	438,6	– 1,2
Природный газ, м^3	100,3	101,5	+1,2
Кислород, м^3	100,3	101,9	+1,6
Известняк (весь расход)	107,8	128,2	+20,4
в том числе в доменную печь	0,4	22,7	+22,3
При производстве стали			
Металлошихта:	1142,5	1143	+0,5
чугун	731,7	719,3	– 12,4
шихтовая заготовка	0,9	0,8	– 0,1
стальной лом	345,6	356	+10,4
чугунный лом	2,4	2,1	– 0,3
металлизованные окатыши	44,0	46,6	+2,6
железо из руды	2,3	2,2	- 0,1
раскислители и легирующие	15,7	16,1	+0,4
Кислород, м^3	57,8	58,0	+0,2
Природный газ, м^3	9,7	9,5	– 0,2
При производстве проката			
Всего стали на прокат готовый	1099,5	1097,2	– 2,3
В том числе:			
слитки	1250,4	1273,7	+23,3
литая заготовка	1092,3	1088,5	– 3,8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

В 2011 г. в целом по предприятиям черной металлургии России при производстве чугуна сэкономлено 57,5 тыс. т скипового кокса и перерасходовано 24,6 тыс. т железной руды.

В сталеплавильном производстве сэкономлено 830,7 тыс. т чугуна, но при этом перерасходовано 693,3 тыс. т стального лома.

При производстве проката сэкономлено 121,7 тыс. т слитков и литой заготовки.

В целом по отрасли динамика удельных расходов сырья, материалов и технологического топлива на производство чугуна, стали и проката приведена в табл. 1.

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В 2011 г. увеличился расход железорудной шихты при снижении расхода окатышей и росте расхода агломерата. Снизился расход скипового кокса.

На ряде предприятий из-за ухудшения качества шихты по содержанию в ней железа возрос расход шихты (Чусовской МЗ, «Уральская Сталь», «Тулачермет»).

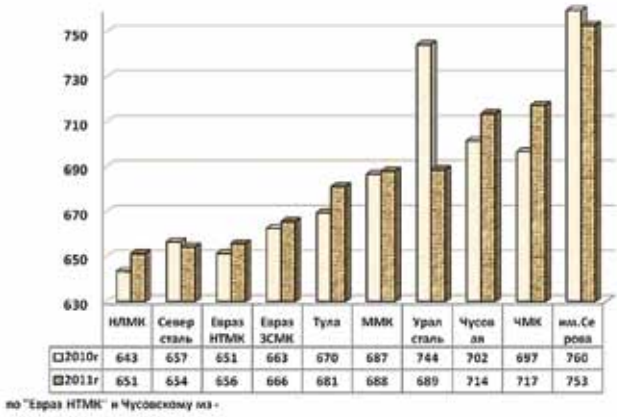
Таблица 2. **Удельный расход железорудной шихты на передельный чугун по предприятиям**

Предприятие	Расход ЖРЧ шихты, кг/т чугуна		Изменение расхода ЖРЧ шихты в 2011г., кг/т	Содержание железа в ЖРЧ, %	
	2010 г.	2011 г.		2010 г.	2011 г.
ЧерМК	1581,0	1573,0	– 8,0	60,3	60,3
НЛМК	1596,3	1598,2	+1,9	59,5	59,4
ММК	1664,7	1661,6	– 3,1	58,0	57,9
ЧелМК	1653,9	1635,2	– 18,7	58,2	58,6
«Евраз НТМК» (ванадиевый чугун)	1697,8	1698,9	+1,1	56,8	56,7
«Евраз ЗСМК»	1683,5	1680,3	– 3,2	57,7	57,7
«Тулачермет»	1653,2	1690,3	+37,1	57,5	56,8
Чусовской МЗ (ванадиевый чугун)	1757,5	1801,5	+44,1	58,1	55,7
«Уральская сталь»	1711,8	1770,7	+58,9	57,2	56,2
МЗ им. А.К. Серова	1822,6	1817,7	– 4,9	52,4	51,9

Таблица 3. **Удельный расход скипового кокса (в сухом весе) на 1 т передельного чугуна, кг**

Предприятие	2010 г.	2011 г.	Изменение
«Евраз НТМК» (ванадиевый чугун)	404,2	398,9	– 5,3
ЧерМК	419,4	417,6	– 1,8
НЛМК	418,3	426,6	+8,3
«Евраз ЗСМК»	447,4	448,7	+1,3
ММК	444,5	446,0	+1,5
«Уральская сталь»*	541,2/2,2	481,4/0	- 59,8/- 2,2
«Тулачермет»	475,2	480,4	+5,2
ЧелМК	454,8	468,5	+13,7
МЗ им. А.К. Серова*	512,6/23,1	505,2/20,5	– 7,4/– 2,6
Чусовской МЗ	516,5	506,5	– 10,0
* В знаменателе каменный уголь.			

Рис. 1. **Удельная энергоемкость передельного чугуна, кг усл. топлива на 1 т чугуна**



по "Евраз НТМК" и Чусовскому мз -

По расходу скипового кокса из-за понижения температуры горячего дутья с перерасходом сработали меткомбинаты Челябинский и Новолипецкий, а также «Тулачермет».

Удельная энергоемкость чугуна как суммарный показатель затрат на железорудные материалы, кокс, природный газ, кислород, рассчитанный по коэффициентам энергоемкости этих материалов и топлива, приведена на рис. 1.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В целом при производстве стали расход металлошихты увеличился на 0,5 кг/т. Расход чугуна снижен на 12,4 кг/т, увеличился расход стального лома на 10,4 кг/т, раскислителей и легирующих – на 0,4 кг/т, металлизованных окатышей – на 2,6 кг/т.

Удельная энергоемкость конвертерной стали находится в прямой зависимости от расхода чугуна.

Высокая энергоемкость конвертерной стали на НТМК связана с получением стали дуплекс-процессом для производства ванадиевого шлака.

ПРОИЗВОДСТВО КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Удельная энергоемкость конвертерной стали находится в прямой зависимости от расхода чугуна.

Высокая энергоемкость конвертерной стали на НТМК связана с получением стали дуплекс-процессом для производства ванадиевого шлака.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОСТАЛИ

В электросталеплавильном производстве на предприятиях с полным металлургическим циклом (табл. 5), входящих в группу 1, доля чугуна в шихте состав-

Таблица 4. **Показатели удельного расхода чугуна при производстве конвертерной стали, кг/т**

Предприятие	2010 г.	2011 г.	Изменение
В целом по отрасли	903,4	893,9	– 9,5
«Евраз ЗСМК»	828,2	820,1	– 8,1
ММК	874,7	878,6	+3,9
ЧерМК	863,8	855,7	– 8,1
НЛМК	940,6	910,1	– 30,5
ЧелМК	935,1	917,2	–17,9
«Евраз НТМК»	1083,8	1073,0	– 10,8

Рис. 2. **Показатели удельной энергоемкости конвертерной стали, кг усл. топлива на 1 т стали**

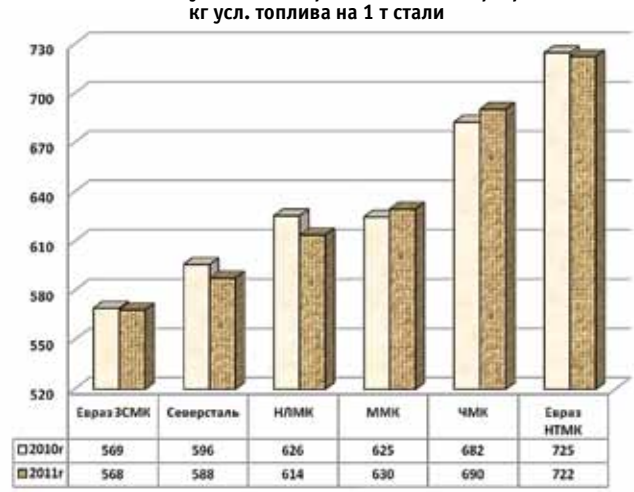


Таблица 5. **Расход чугуна при производстве электростали, кг/т**

Группа цехов	Предприятие	2010 г.	2011 г.	Доля чугуна в шихте, %	
				2010 г.	2011 г.
1	Всего по отрасли	202,1	194,6	17,6	16,9
	ММК	254,4	258,4	22,2	22,6
	«Евраз НКМК» (промплощадка № 2*)	260,9	238,8	23,6	21,8
	«Уральская Сталь»	411,1	393,0	36,4	34,9
	ЧерМК	306,0	310,1	26,5	26,9
	ЧелМК	296,0	282,3	26,5	24,7
	МЗ им. А.К. Серова	417,4	398,7	35,8	34,0
2	МЗ «Красный Октябрь»	2,8	3,5	0,24	0,29
	«Электросталь»	4,8	8,4	0,41	0,71
	«Ижсталь»	0,8	0,5	0,07	0,04
	Златоустовский МЗ	12,9	4,9	1,11	0,42
	Северский ТЗ	23,8	2,5	2,08	0,22

* В составе «Евраз ЗСМК» (до 2011 г. Новокузнецкий металлургический комбинат).

Таблица 6. **Удельный расход электроэнергии при производстве электростали, кВт·ч/т**

Предприятие	2010 г.	2011 г.	Изменение
ММК	310,4	307,7	- 2,7
ЧерМК	271,4	262,7	- 8,7
«Уральская Сталь»	258,0	254,5	- 3,5
«Евраз ЗСМК» (промплощадка № 2)*	443,7	431,1	- 12,6
ЧелМК	341,8	296,7	- 45,1
МЗ им. А.К. Серова	308,2	299,8	- 8,4
МЗ «Красный Октябрь»	511,6	544,7	+33,1
«Электросталь»	717,3	731,5	+14,2
«Ижсталь»	650,2	504,0	- 146,2
Златоустовский МЗ	862,7	898,8	+36,1
ОЭМК	595,8	572,3	- 23,5
Северский ТЗ	490,9	484,5	- 6,4

* В составе «Евраз ЗСМК» (до 2011 г. – Новокузнецкий металлургический комбинат)

Рис. 3.* **Удельная энергоемкость электростали, кг усл. топлива на 1 т стали**

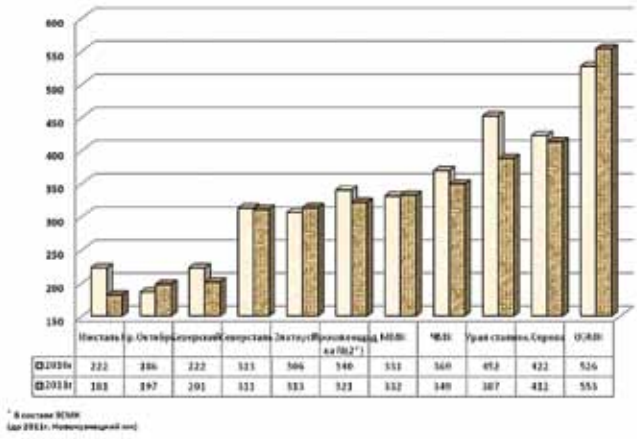


Таблица 7. **Удельный вес литой заготовки в структуре заданного в прокат, %**

Предприятие	2010 г.	2011 г.
Россия (ЧМ)	79,7	82,1
ММК	100,0	100,0
НЛМК	100,0	100,0
ОЭМК	100,0	100,0
ЧерМК	100,0	100,0
«Евраз НТМК»	100,0	100,0
«Евраз ЗСМК» (промплощадка № 2)*	91,6	72,9
ЧелМК	52,3	61,6
«Евраз ЗСМК»	36,3	36,7
«Уральская сталь»	48,6	58,9

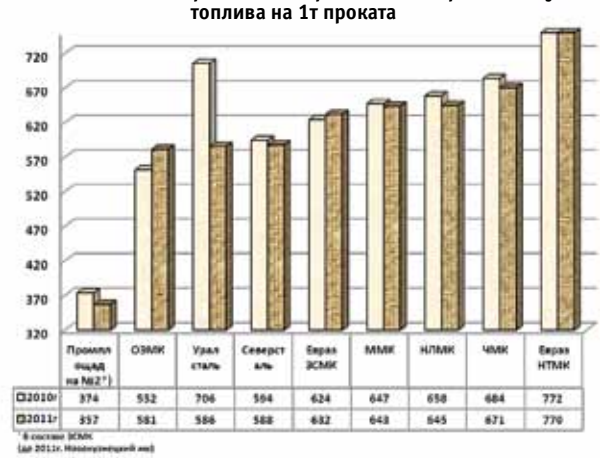
* В составе «Евраз ЗСМК» (до 2011 г. Новокузнецкий металлургический комбинат)

Таблица 8. **Расход стали на производство готового проката, кг/т**

Предприятие	2010 г.	2011 г.	Изменение
ОЭМК	1048,4	1051,3	+2,9
НЛМК*	1052,6	1050,4	– 2,2
ММК	1087,5	1076,6	– 10,9
«Евраз ЗСМК»	1097,0	1112,0	+15,0
ЧерМК	1078,5	1081,1	+2,6
«Евраз НТМК»	1064,7	1066,1	+1,4
«Евраз ЗСМК» (промплощадка №2)**	1100,4	1111,8	+11,4
ЧелМК	1143,9	1134,5	– 9,4
«Уральская Сталь»	1221,8	1194,3	– 27,5

* В связи с внедрением и отработкой на комбинате информационно-интегрированной системы SAP ERP удельный расход стали на прокат принят на уровне расхода в 2010 г.
** В составе «Евраз ЗСМК» (до 2011 г. – Новокузнецкий металлургический комбинат)

Рис. 4. **Удельная энергоемкость производства проката, кг усл. топлива на 1т проката**



ляет от 22 до 36 %, по группе 2 доля чугуна не превышает 0,7 %.

Расчеты удельной энергоемкости электростали показывают, что на величину энергоемкости стали оказывает влияние расход чугуна и электроэнергии на плавку.

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

При производстве проката расход стали на готовый прокат снизился на 2,3 кг/т, при этом расход литой заготовки снизился на 3,8 кг/т, а слитков увеличился на 23,3 кг/т. Доля литой заготовки в прокатном производстве возросла с 79,7 до 82,1 %.

Удельная энергоемкость проката на Оскольском электрометаллургическом комбинате и промплощадке № 2 ЗСМК (бывший НКМК) отличается минимальным значением, так как на них сталь производится исключительно в электропечах.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЗНАНИЙ

О РЕЛЬСАХ

ТЕКСТ ЮРИЙ СНИТКО,
генеральный директор ОАО «Черметинформация», д. т. н.

Вышла из печати книга доктора технических наук, профессора Евгения Авелевича Шура «Повреждение рельсов». Эта книга написана металловедом, который полвека занимается исследованием разрушения рельсов и является, несомненно, одним из самых авторитетных в мире и лучшим в России специалистом по данной проблеме.

Актуальность проблемы не вызывает сомнений. По протяженности электрифицированных магистралей российские железные дороги занимают первое место в мире. Российская Федерация в настоящее время осуществляет более 20 % грузооборота и 10 % пассажирооборота всех железных дорог мира. При этом железнодорожный транспорт остается ведущим элементом транспортной системы России: его доля в обеспечении пассажирских и грузовых перевозок составляет более 40 %. В соответствии с прогнозами грузооборот в 2030 году возрастет по сравнению с 2011 годом в 1,7 раза, пассажирооборот – в 1,3 раза.

Требуются рельсы для участков дорог с высокой грузонапряженностью, в зонах развития новых месторождений полезных ископаемых, в промышленных зонах, рельсы для скоростных магистралей. В ближайшие годы будет увеличиваться протяженность путей с совмещенным движением грузовых и скоростных пассажирских поездов.

Качественно новые рельсы понадобятся также в связи с поставленной задачей организации высокоскоростного пассажирского сообщения на ряде направлений, где поезда должны развивать скорость до 350 км/ч. Такие рельсы должны обладать повышенной прямолинейностью, достаточно высокой контактно-усталостной прочностью и износостойкостью.

В результате применения рельсов с повышенной прямолинейностью вместо стандартных на участках со скоростным и смешанным движением пассажирских и грузовых поездов происходит сокращение объемов работ при текущем содержании пути, снижается расход энергии на тягу поездов вследствие уменьшения сопротивления движению поезда, сокращаются расходы на приобретение материалов верхнего строения пути, увеличиваются межремонтные сроки. Появляются возможности для дополнительного увеличения объемов перевозки грузов благодаря высвобождению подвижного состава.

Улучшение качества рельсов, повышение их эксплуатационной надежности возможны только при ясном понимании причин, приводящих к повреждению рельсов. Необходимо установить, как технология производства влияет на образование дефектов рельсов, как эти дефекты приводят к повреждениям рельсов. По этой причине представленный труд вышел в свет весьма своевременно и, несомненно, будет способствовать решению указанных проблем.

В книге освещены технологии производства рельсов. Приведены основные требования, определяющие качество рельсов. Рассмотрены дефекты различных видов, возникающие в процессе производства и при эксплуатации в подошве, шейке и головке рельсов, в сварных швах бесстыкового пути. Приведена новая классификация дефектов. Особое внимание уделено причинам различных повреждений и разрушений рельсов. При этом учтен опыт исследований дефектных рельсов, накопленный на протяжении многих десятков лет в отделении транспортного материаловедения Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ).

На главных путях российских железных дорог уложено около 10 млн штук 25-метровых рельсов. Еще около 5 млн находятся на станционных и подъездных путях. Добиваясь удлинения жизненного цикла рельсов, можно получить огромный экономический эффект и, что еще важнее, снизить вероятность внезапных разрушений.

Книга хорошо структурирована, написана понятным, интересным языком, снабжена многочисленными качественными иллюстрациями и дает целостную картину причин, механизмов и результатов повреждения рельсов. Книга охватывает весь жизненный цикл рельсов. В ней приведены требования к качеству и технологии производства рельсов. Описаны основные доэксплуатационные дефекты рельсов, классифицированы дефекты и повреждения рельсов в эксплуатации, причины разрушения сварных стыков и изломов рельсов. Особый интерес представляют приведенные автором методы установления причин разрушения рельсов.

Книга, несомненно, будет полезна работникам служб пути, дефектоскопистам и, конечно, другим категориям читателей – ученым, преподавателям транспортных и металлургических вузов, сотрудникам технических служб металлургических комбинатов – всем тем, кто в своей практической деятельности имеет дело с поврежденными рельсами. ИР

РЕЛЬСЫ ДЛЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

ТЕКСТ ЕВГЕНИЙ ШУР, *главный научный сотрудник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), д.т.н*

Российские железные дороги находятся в зонах наиболее холодного климата по сравнению с железными дорогами всего мира. Это в ряде случаев создает для них экстремальные условия эксплуатации. Такие железные дороги, как Забайкальская, Восточно-Сибирская и Свердловская, находятся в зоне, где число дней в году со средней суточной температурой воздуха ниже минус 30 °С составляет более 20. Дальнейшее строительство дорог еще больше увеличит долю железнодорожного пути, находящегося в экстремальных условиях эксплуатации с точки зрения климатических условий.

Низкие температуры существенно изменяют условия работы рельсов в пути, в первую очередь из-за повышения жесткости пути. Далее рассматриваются изменения свойств рельсовой стали и рельсов при понижении температуры, влияние температуры на повреждаемость рельсов в эксплуатации, новые испытания и опыт России по производству рельсов в северном исполнении.

Все данные, приводимые в статье, относятся к термоупрочненным и нетермоупрочненным рельсам категорий R350HT и R260, изготовленным из сталей перлитного класса. Рельсы из сталей бейнитного класса не рассматриваются из-за того, что они пока еще не вышли из стадии опытной эксплуатации.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ И РЕЛЬСОВ

Рассмотрим вначале различные критерии и свойства, характеризующие сопротивление рельсовых сталей хрупкому разрушению и охрупчиванию при понижении температуры. В табл.1 приведены средние значения свойств, определенных на образцах, вырезанных из рельсов категорий R350HT и R260, которые могут служить показателями сопротивления рельсовых сталей хрупкому разрушению.

Ударная вязкость. Многочисленные испытания различных рельсовых сталей перлитного класса на ударную вязкость, которые обычно проводят на маятниковых копрах и образцах размером 10×10×55 мм с надрезом глубиной 2 мм и относительно мягким радиусом надреза, равным 1 мм, показали, что в интервале температур эксплуатации рельсов (от –60 до +50 °С) наблюдается плавное снижение ударной вязкости при уменьшении температуры испытания. Как и у всех сталей с высоким содержанием углерода резкий спад ударной вязкости при какой-либо температуре отсутствует, так что определить температуру вязко-хрупкого перехода непосредственно по температурным зависимостям ударной вязкости не удается. Не помогает в данном случае и широко распространенный метод определения температуры вязко-хрупкого перехода по 50 %-ному содержанию вязкой составляющей в изломе, отражающему смену механизмов разрушения. Проведение сериальных температурных испытаний на ударную вязкость с определением температуры вязко-хрупкого перехода (T_{50}) по виду излома по-

казало, что для образцов, вырезанных из рельсов R350HT и R260, она составляла 210 и 280 °С (табл.1). Таким образом, температура вязко-хрупкого перехода для перлитных рельсовых сталей намного превышает эксплуатационные температуры. В связи с этим разделение ударной вязкости ($a_н$) на составляющие ($a_з$ и $a_р$) в пределах эксплуатационных температур не имеет смысла, так как работа развития трещин ($a_р$) практически мало отличается от нуля. В этом случае использование понятия «температурного запаса вязкости» $\Delta T = T_Э - T_К$, предложенного Н.Н. Давиденковым, теряет свой физический смысл, так как $T_Э < T_К$. Формальное использование в расчетах отрицательного температурного запаса вязкости еще как-то оправдано при близких значениях ТЭ и ТК , но становится явно невозможным, когда разница между ними достигает, как в рельсовой стали, 150–300 °С. При этом часто оказывается, что материал, имеющий более низкую температуру вязко-хрупкого перехода, но также существенно превышающую рабочий интервал температур, обладает не большей, а меньшей энергоемкостью при температурах эксплуатации. Поэтому для рельсовых сталей, температура вязко-хрупкого перехода которых существенно превышает температуры эксплуатации, нельзя пользоваться температурой вязко-хрупкого перехода T_{50} в качестве параметра для оценки сопротивления хрупкому разрушению.

Таблица 1. **Оценка сопротивление рельсовой стали хрупкому разрушению**

Параметр	Значения для рельсов	
	термически упрочненных R350HT	горячекатаных нетермообработанных R260
Ударная вязкость, Дж/см^2 при +20° С,	3,7	1,8
при –60° С	1,6	0,8
Удельная работа распространения трещины, Дж/см^2	< 0,3	< 0,3
Температура вязко-хрупкого перехода, Т50, °С	210	280
Статическая трещиностойкость K_{Ic}, МПа·м$^{1/2}$, при +20° С,	49,0	36,5
при –60° С,	26,0	23,5

Статическая трещиностойкость (вязкость разрушения) является вторым показателем сопротивления разрушению рельсовых сталей. Его преимущество перед ударной вязкостью заключается в том, что с его помощью можно не только проводить сравнение материалов, но и рассчитывать сопротивление рельсов хрупкому разрушению. Поэтому критическое значение коэффициента интенсивности напряжений (K_{Ic}) занимает в настоящее время основное место в ряду параметров для оценки сопротивления хрупкому разрушению рельсовых сталей и введено в ряд последних стандартов на рельсы.

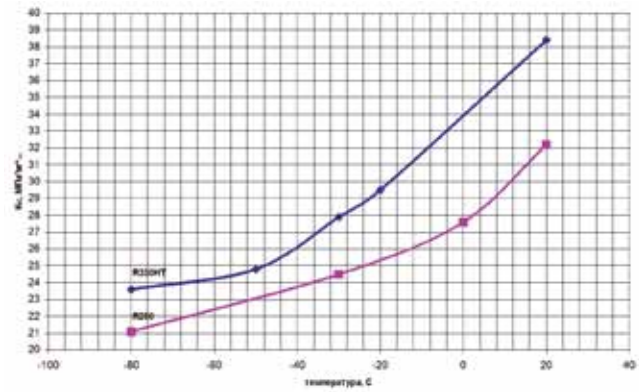
Вязкость разрушения K_{Ic} определяли при изгибе и внецентренном растяжении различных образцов, в которых от острого надреза, нанесенного механическим способом, выращена усталостная трещина определенной длины. Методика испытаний соответствовала отечественному стандарту.

Кроме того, определяли вязкость разрушения полнопрофильных рельсов K_{fc} по величине полуокружности усталостной трещины критической величины в зоне растяжения головки, сломавшейся при циклических испытаниях на усталость.

При понижении температуры вплоть до – 80 °С происходит плавное понижение вязкости разрушения (рис. 1).

Сопротивление усталости, оцененное путем проведения натурных испытаний полнопрофильных рельсовых проб при различных температурах, является уникальным испытанием, давшим весьма интересные результаты. Испытания рельсов на усталость проводили на машине с пульсатором при асимметричном цикле нагружения с частотой 400 циклов в минуту и коэффициентом асимметрии, равным 0,1. Рельс, опоры, пуансон размещались в низкотемпературной камере, которая монтировалась на нижней траверсе испытательной машины. В камеру холодный воздух подавался от турбохолодильной машины, что давало возможность поддерживать заданную температуру в диапазоне от +20 до –100 °С в процессе всего времени испытания с точностью ±50 °С. Для каждой температуры испытания на базе 2 млн циклов строили кривые усталости и замеряли площадь усталостной трещины в разрушившихся рельсах.

Рис. 1. **Температурная зависимость вязкости разрушения для рельсов R350HT и R260**



Предел выносливости рельсов при понижении температуры от +20 до – 60 °С увеличился на 11%, что связано с повышением прочностных характеристик стали при отрицательной температуре.

Чувствительность к концентрации напряжений рельсов при низких температурах значительно возрастает. Хрупкое разрушение рельсов при низких температурах происходит от усталостных трещин, размер которых значительно меньше, чем аналогичных усталостных трещин при комнатной температуре.

Копровая прочность рельсов определяется при натурных испытаниях рельсовых проб на ударный изгиб, которые производятся на вертикальных копрах с грузом весом 1000 кг. Рельсовая проба длиной 1,3 м укладывается головкой вверх или вниз на две опоры, установленные на расстоянии 1,0 м. Испытывая серию одинаковых проб, определяют работу разрушения рельсов при ударе. Высота подъема груза при этом постепенно уменьшается до тех пор, пока пробы не перестанут разрушаться. Минимальная работа удара, при которой наступает разрушение проб, соответствует работе их разрушения. Работу разрушения рельсовой пробы можно также определить, используя специальную аппаратуру, с помощью которой определяется скорость движения груза до и после соударения ее с рельсовой пробой. Натурные испытания рельсовых проб на ударный изгиб проводят при различных температурах, определяя таким образом хладноломкость рельсов.

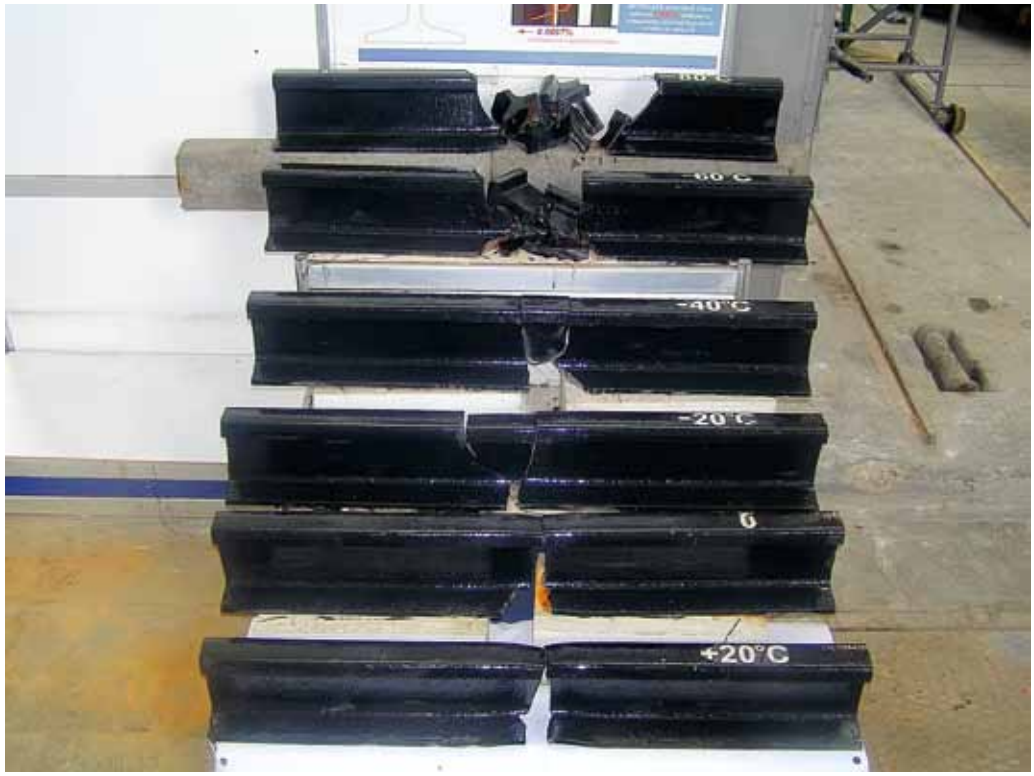
Как и ударная вязкость, работа разрушения полнопрофильных рельсов с понижением температуры постепенно понижается, причем работа разрушения целых рельсов во всем интервале температур остается значительно выше, чем работа разрушения сварных стыков.

С понижением температуры испытаний происходит еще одно изменение характера разрушения рельсов: количество фрагментов, на которые разрушается испытываемый рельс, увеличивается с понижением температуры (рис. 2), что может свидетельствовать о росте потенциальной аварийности рельсов, разрушающихся при низкой температуре.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РЕЛЬСОВ

Физические основы ускорения выхода из строя рельсов при понижении температуры связаны с охрупчиванием рельсовой стали, с повышением жесткости пути, с повышением температурных растягивающих напряжений в бесстыковом пути, с изменением трибологи-

Рис. 2. **Вид проб рельсов, разрушенных на копре при различных температурах**



ческих условий в контакте колес и рельсов за счет снижения коэффициента трения при образовании слоя льда на поверхности катания. Имеющиеся сведения о росте выхода из строя рельсов при понижении температуры крайне противоречивы. Качественно все они подтверждают рост повреждаемости рельсов при низких температурах, но количественные соотношения сильно разнятся. По нашему мнению, это связано с тем, что понижение температуры поразному влияет на выход рельсов по различным дефектам. Причины изломов рельсов и их отказов, обнаруженных при периодическом дефектоскопном контроле, значительно различаются в количественном отношении (табл. 2).

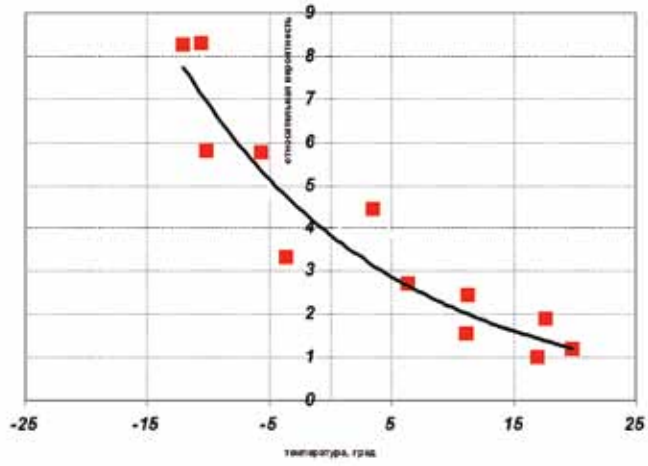
Разрушения рельсов, начинающиеся с подошвы и шейки, на которые решающее влияние оказывают изгибающие напряжения, приводят к большей доле их в изломах, чем в рельсах, изъятых по показаниям дефектоскопов, где превалируют разрушения, связанные с контактной усталостью. 50 лет назад, когда поперечное сечение и соответственно момент сопротивления рельсов были заметно меньше, а изгибающие напряжения поэтому больше, многие разрушения рельсов начинались с подошвы. Рост выхода рельсов при понижении температуры эксплуатации на железных дорогах доходил тогда до 1,8–2,7 раза. Тридцать лет спустя, когда практически закончилось заполнение сети железных дорог рельсами типа Р65, это повышение выхода из строя рельсов при понижении температуры эксплуатации оценивалось уже в 1,5 – 1,9 раза.

Таблица 2. **Основные причины изъятия рельсов из-за изломов и обнаружения дефектов дефектоскопами**

Причина отказа	Обнаружено дефектоскопами, %	Изломы, %
Контактная усталость	63	19
Термомеханические повреждения	7	3
Дефектная сварка	10	32
Содержание стыков	12	10
Коррозионная усталость	1	27

Простое построение графиков и диаграмм, где по оси абсцисс откладывается температура, а по оси ординат количество изломов рельсов при данной температуре, не позволяет выявить очевидное сильное влияние температуры на вероятность изломов рельсов. Подобные диаграммы свидетельствуют только о том, что изломы рельсов

Рис. 3. **Зависимость относительной вероятности изломов рельсов от температуры**



происходят при любой температуре от –50 до +40 °С. Не вызывает сомнения, что снижение температуры приводит к тому, что в сочетании со статистически распределенными повышенными эксплуатационными воздействиями срабатывает большее число отдельных «слабых мест», имеющихся в большой системе, которую представляют собой российские железные дороги, и при этом возникает большее число изломов рельсов.

Для того чтобы количественно оценить влияние понижения температуры на появление изломов рельсов, построили распределение всей базы изломов рельсов за 2002–2008 гг. (864 изломов) по месяцам. Видно, что количество изломов (относительная вероятность изломов) в декабре–январе увеличивается в 8 раз по сравнению с июнем. Используя данные метеонаблюдений и изменение средних температур по месяцам, построили экспоненциальную зависимость относительной вероятности изломов рельсов от температуры (рис. 3).

Для того чтобы снизить неизбежное повышение количества изломов рельсов при снижении температуры ниже (–25) – (–35) °С, нужно вернуться к обсуждению предложения о том, чтобы понижать скорость движения грузовых поездов при снижении температуры ниже определенной величины.

НОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ РЕЛЬСОВ В СЕВЕРНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Проведенные описанные выше систематические исследования влияния температуры на свойства рельсовой стали и рельсов и многолетние наблюдения за их эксплуатационной стойкостью при низких температурах привели к необходимости включать во все стандарты и технические условия на рельсы для российских железных дорог двух видов приемочных испытаний, не входящих в технические спецификации других стран. Это – ударная вязкость при температуре минус 60 °С и низкотемпературные копровые испытания при температуре минус 60 °С. Для термически упрочненных рельсов с отдельного нагре-

Таблица 3. **Средний химический состав рельсов производства НКМК в обычном и северном исполнении**

Элементы	R350HT в обычном исполнении	R350HT в северном исполнении
C	0,76	0,76
Mn	0,88	0,88
Si	0,31	0,31
V	0,04	0,07
P	0,016	0,014
S	0,011	0,010
Al	0,004	0,004
Cr	0,09	0,08
Ni	0,07	0,07
Cu	0,13	0,12
N	0,011	0,011

Таблица 4. **Средние механические свойства рельсов производства НКМК в обычном и «северном» исполнении**

Свойства	R350HT в обычном исполнении	R350HT в северном исполнении
Предел прочности, Н/мм^2	1244	1244
Предел текучести, Н/мм^2	895	890
Относительное удлинение, %	12,4	12,7
Относительное сужение, %	37,8	39,7
Ударная вязкость при + 20 °С, Дж/см^2	43	-
Ударная вязкость при – 60 0С, Дж/см^2	-	35
Твердость по Бринеллю, НВ	374	373

ва (Off-Line) ударная вязкость при этой температуре должна превышать 25 Дж/см^2, для термически упрочненных рельсов с прокатного нагрева (In-Line) она должна быть выше 15 Дж/см^2. Копровая прочность рельсов, определяемая при испытаниях полнопрофильных проб рельсов на копре при ударе падающим грузом массой 1000 кг с высоты 9 м, считается удовлетворительной, если проба при этой температуре выдержала удар без излома и признаков разрушения.

Методики и нормы вязкости разрушения при статическом нагружении образцов ($К_{Ic}$) и циклическом нагружении полнопрофильных рельсовых проб ($К_{fc}$) оставлены до накопления опыта испытаний и эксплуатации.

ПРОИЗВОДСТВО РЕЛЬСОВ В СЕВЕРНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Разработана технология производства и соответствующие технические условия на термически упрочненные рельсы категории R350HT, которые могут обеспечить их надежную работу в условиях низких температур и высоких осевых нагрузок. За последние 10 лет было выпущено и уложено в путь более 1,2 млн т рельсов, так называемых «низкотемпературной надежности» с повышенной ударной вязкостью и копровой прочностью при температуре –60 °С. Получение нормативных значений ударной вязкости при низкой температуре и низкотемпературной копровой прочности обеспечивается мелкозернистой структурой рельсовой стали. Последняя, в свою очередь, достигается получением карбонитридов ванадия за счет повышенного содержания ванадия (0,05 – 0,15 %) и азота (0,008 – 0,020 %), а также термической обработкой с отдельного нагрева (Off-Line). Получить нормативные значения ударной вязкости и низкотемпературной копровой прочности для рельсов, предназначенных для работы при низких температурах, при термической обработке с прокатного нагрева (In-Line) вряд ли удастся даже при снижении температуры конца прокатки.

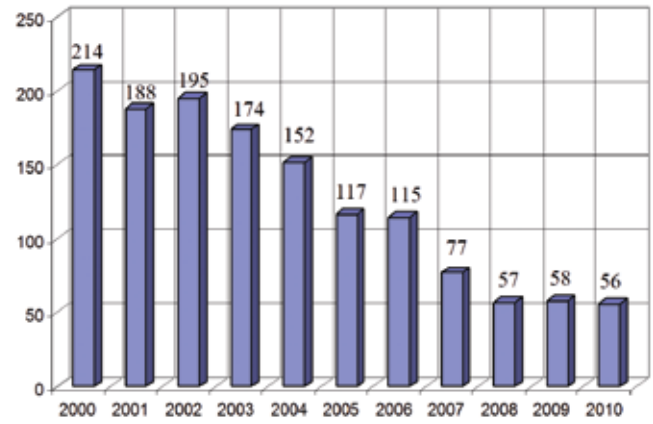
В табл. 3 и 4 приведен средний химический состав и механические свойства рельсов типа Р65 категории R350HT (объемно закаленных с отдельного нагрева) производства Новокузнецкого металлургического комбината в обычном и «северном» исполнении.

Опыт применения рельсов низкотемпературной надежности также показал, что они обладают лучшей свариваемостью, чем обычные рельсы. Для предотвращения случаев изломов рельсов в пути огромное значение имеет также совершенствование методов рельсовой дефектоскопии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные задачи, которые ставят перед рельсами для работы при низких температурах, связаны с уменьшением числа изломов рельсов в пути и повышением надежности выявления растущих усталостных трещин методами рельсовой дефектоскопии. В результате проведения за последние годы на российских железных дорогах комплекса мероприятий (совершенствование технических требований и технологии производства рельсов, предназначенных для работы в условиях низких температур и высоких осевых нагрузок, методов и средств рельсовой дефектоскопии и др.) удалось существенно снизить число ежегодных изломов рельсов в пути (рис. 4).

Рис. 4. **Изменение количества изломов рельсов по годам**



Для дальнейшего снижения числа изломов необходимо:

– продолжить работы по совершенствованию технологии и методов контроля сварки и обработки сварных швов;

– путем совершенствования методов дефектоскопии добиться дальнейшего снижения числа своевременно не выявленных трещин контактной усталости;

– за счет внедрения методов упрочнения болтовых отверстий добиться снижения числа стыковых дефектов из-за недостатков содержания болтовых стыков.

ЗИМНЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. ОПЫТ КАНАДЫ

ТЕКСТ К. ЛАДУБЕК, Э. МАГЕЛЬ, *центр технологии транспортировки по поверхности в Национальном научно-исследовательском совете Канады в Оттаве*

Эксплуатация железных дорог в Канаде существенно осложняется в зимний период. В это время отмечаются снижение их пропускной способности, задержки в поставке грузов и нарушение графиков движения пассажирских поездов. Низкие температуры становятся причиной выхода из строя рельсов и неправильного срабатывания воздушных тормозов. Снег вызывает образование ползунов у колес и прилипание тормозных колодок. Лед ухудшает состояние стрелочных переводов и ослабляет сцепление колес с рельсами, особенно в тоннелях. Обледеневшие переключатели, сломанные рельсы, поврежденные колеса – все это не только снижает рентабельность железнодорожного транспорта, но и создает угрозу безопасности людей.

В той или иной степени проблемы зимней эксплуатации железных дорог существуют во всех канадских провинциях, хотя проявляются они по-разному. Например, в горных районах страны особенные трудности возникают из-за сильных снегопадов и схода лавин, а в равнинных местностях приходится постоянно бороться с заносами.

Год от года железные дороги вынуждены увеличивать затраты на топливо (см. таблицу). Зимой эти расходы еще больше возрастают, что связано с такими негативными явлениями, как «прихватывание» тормозов, простой тепловозов, пониженное сцепление колес с рельсами, непредусмотренное увеличение массы вагонов в связи с накоплением снега.

Дополнительные средства затрачиваются также на обслуживание инфраструктуры и оборудования. На рис. 1 показаны доли этих расходов в разные месяцы года на одной из железных дорог Канады. Поскольку плановая замена рельсов, выправка пути, обслуживание сигнальной аппаратуры и другие виды работ проводятся в основном в теплые месяцы (с мая по сентябрь), то высокие расходы в период с декабря по февраль можно справедливо связать именно с решением сугубо «зимних» проблем.

Для всестороннего изучения проблемы Управление по технологии транспортировки и инновациям Министерства транспорта Канады заключило контракт с Центром технологии транспортировки по поверхности в Национальном исследовательском совете Канады. Поддержку этому проекту оказали транспортные и промышленные компании. Был создан управляющий комитет, в состав которого вошли представители Министерства транспорта, Канадской тихоокеанской железной дороги и Канадской национальной железной дороги.

В рамках исследования были проведены следующие мероприятия:

Расход дизельного топлива на железных дорогах в Канаде в 2003 – 2007 гг.

Год	Общий расход дизельного топлива, тыс. л	Общие затраты на дизельное топливо, тыс. долл.
2007	2 193 684	1 486 001
2006	2 119 082	1 299 572
2005	2 130 224	1 153 591
2004	2 097 070	846 489
2003	2 007 813	761 278

– подготовлен обзор работ на эту тему (более 100 источников), где отражен опыт Канады и других стран, сталкивающихся с подобными проблемами, включая США, Китай, Швецию, Финляндию, Норвегию, Россию и Японию;

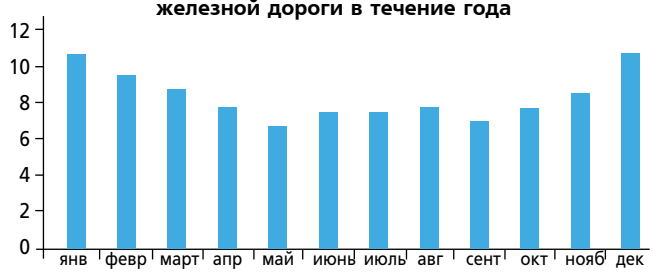
– проведен опрос персонала железных дорог по указанной проблематике;

– организовано посещение предприятий и объектов для более глубокого ознакомления с проблемами, возникающими в зимний период в работе сортировочных станций и в движении поездов. Были также рассмотрены планы железных дорог по подготовке к зиме.

Полученную информацию дополнили сообщения с нескольких конференций по зимней проблематике, проведенных Центром и Канадской тихоокеанской железной дорогой с 2005 по 2008 год.

Выполненное исследование позволило сформулировать приоритеты и определить основные блоки проблем, к числу которых относятся как проблемы подвижного состава, так и проблемы железнодорожного пути.

Рис. 1. **Изменение доли расходов на техническое обслуживание инфраструктуры Канадской тихоокеанской железной дороги в течение года**



ПРОБЛЕМЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Воздушные тормоза

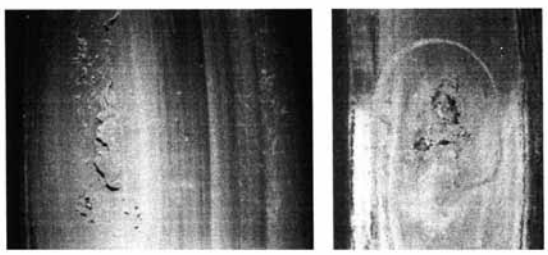
Мелкие утечки воздуха, с которыми несложно справиться при положительных температурах, зимой становятся источником серьезных проблем. Низкие температуры вызывают сжатие воздухопроводов, нарушают целостность муфт. При этом трудно обеспечить необходимое давление воздуха в системе, что не позволяет полностью отпустить тормоза. По этой причине Канадская тихоокеанская железная дорога ограничивает длину поездов с бестарными грузами величиной 7000 футов при температуре минус 25 °С и величиной 5500 футов при температуре минус 35 °С. Канадская национальная железная дорога предельную длину поездов при данных температурах устанавливает соответственно в 8000 и 4500 футов. Влага, присутствующая в воздушных линиях, может застыть, а это приводит к таким неприятностям как прилипание тормозных клапанов, их засорение, замерзание тормозных цилиндров, ограничение воздушного потока. В результате тормозные клапаны зимой приходится менять гораздо чаще.

«Прихватывание» тормозов вносит свой «вклад» в нагревание обода колеса и, возможно, становится одной из причин его повреждения. Когда обнаруживается горячее или сильно поврежденное колесо, вагон отправляют на ремонт. При этом приходится отрезать тормозную магистраль и в дальнейшем заново ее восстанавливать. «Прихватывание» тормозов может привести к остановке поезда, особенно если к этому добавляется плохое сцепление колес с рельсами в условиях, когда снег, иней или замерзшие капли дождя налипают на колеса. Остановки поездов на участках крутых склонов зимой становятся самым обычным явлением на некоторых железных дорогах, что вызывает серьезную обеспокоенность.

Из-за низких температур тормозные шланги теряют гибкость, и соединить их становится трудной задачей. Были случаи, когда упавший кусок льда приводил к разделению воздушных шлангов на пассажирских поездах. Поиск материала, более соответствующего условиям канадской зимы, возможно, даст положительный результат, однако надо учитывать, что слишком гибкий шланг плохо покажет себя в летний период.

Снег, особенно когда он накапливается на головке рельса и на тормозном оборудовании, уменьшает силу торможения при экстренной остановке, а также затрудняет замену тормозных колодок. Сочетание двух этих факторов – пониженного давления воздуха и накопления снега – повышает риск аварий.

Рис. 2. **Примеры повреждений колес угольного вагона**



Повреждение колес

Повреждение колес вызвано сильными ударными нагрузками на стыке колесо–рельс и особенно часто отмечается при низких температурах, когда балласт замерзает и возникают растягивающие напряжения в рельсах в связи с действием температурных напряжений. Повышенная степень повреждений колес зимой (в 5 раз выше, чем летом) и сопутствующая этому частота замены колесных пар приводят к значительным расходам, которые на канадских железных дорогах оцениваются суммой 85 млн долл. в год.

Есть две основные причины повреждений колес. Первая заключается в формировании мартенсита, который является структурной составляющей стали, характеризующейся высокой твердостью и хрупкостью. Он формируется в результате высоких температур, возникающих при скольжении колеса, за которым следует быстрое охлаждение. Вторая причина заключается в контактной усталости при качении, которая, как это было установлено в середине 1990-х годов, является основным механизмом при повреждении колес на канадских поездах, перевозящих зерно и уголь.

Степень повреждения колес зависит от характера местности. На участке с множеством крутых склонов она будет более сильной, что связано с нагревом колес и высоким сдвигом поверхностного материала (так называемые термомеханические повреждения). Но высокие степени повреждений колес могут возникать даже на пологих участках. Одна из причин этого заключается в попадании снега и влаги в поверхностные трещины на ободе колеса, что ведет к их распространению из-за гидравлического воздействия. Другим негативным фактором могут стать уже упоминавшиеся проблемы с тормозами, что вызывает формирование мартенсита или просто нагрев колеса, уменьшающий прочность колесной стали и делающий ее более чувствительной к контактной усталости при качении. Осенью колесо скользит по опавшей на путь листве, зимой – из-за инея на рельсе, и все это ведет к его повреждению.

Для решения проблемы рекомендованы следующие подходы:

– поскольку со времени предыдущего изучения этого вопроса в Канаде прошло более десяти лет и с тех пор проведены существенные усовершенствования технологий производства как колес, так и рельсов, то необходимо новое исследование. При улучшенных рецептурах смазок и более совершенных методах шлифовки рельсов возможно, что повреждение колес из-за контактной усталости при качении перестало быть основной причиной этого негативного явления. Так, отдельные данные, полученные на Канадской тихоокеанской железной дороге, показывают, что растущее количество замен колес связано с их износом;

– эксперименты с опытными бейнитными легированными сталями показали возможность уменьшить формирование мартенсита. Бейнитные стали имеют высокое сопротивление контактной усталости при качении и термической усталости. Испытания бейнитной стали на участке для перевозки железной руды в Швеции дали положительные результаты. Однако бейнитные стали изнашиваются сильнее по сравнению с перлитными, и это проблема, которую еще предстоит решить;

– необходимо улучшить профили колес и рельсов. При этом предстоит минимизировать контактные напряжения как в новых, так и в изношенных колесах и рельсах. Надо также сохранять хорошее геометрическое качество и избегать возникновения концентраторов напряжений;

– требуется оптимизация уровней трения. Для уменьшения износа и повреждений колес должно быть обеспечено подходящее трение и на боковой поверхности (т.е. должна быть смазка), и на поверхности катания головки рельса (т.е. нужно регулирование трения);

– нуждаются в улучшении методы эксплуатации и технического обслуживания, включая повторную обработку колес. Установка датчика предельного состояния колес и использование колес с разным характером износа являются примерами методов, которые можно использовать при рассмотрении проблемы сезонных повреждений колес.

Во всех случаях надо исходить из того обстоятельства, что повреждение колес является критическим фактором, который ведет не только к большому количеству замен колесных пар, но также вызывает рост дефектов рельсов и износ компонентов подвижного состава по причине повышенного динамического воздействия на путь.

ПРОБЛЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Изломы рельсов

Частота изломов рельсов возрастает зимой, потому что возникают растягивающие термические напряжения в сваренных рельсах. Величина напряжений увеличивается при понижении температур и особенно тогда, когда отмечается сочетание растягивающих термических напряжений с неблагоприятными остаточными напряжениями в рельсе. Причем в этом случае появляются растягивающие силы в головке рельса, так что удары колес могут быть достаточными для того, чтобы рельс сломался. Изломы часто возникают в местах, где уже имеются поперечные дефекты в головке рельса.

Экстремально низкие температуры могут привести к уменьшению вязкости разрушения рельсовой стали, так что рельс легче ломается при наличии поперечного дефекта. Кроме того, в рельсе выявляются и другие дефекты, например смятые головки, которые возникают из-за более сильных ударов колес и более жесткого пути. Изломы рельсов происходят в сварных стыках, что также чаще случается в зимнее время.

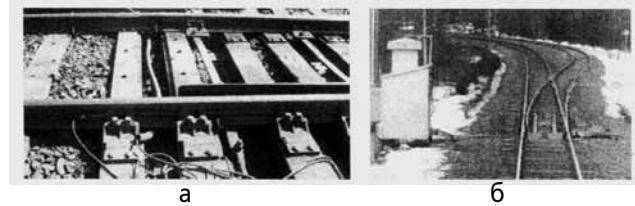
Некоторые специалисты, участвовавшие в опросе, сообщили, что изломы рельсов чаще возникают при резких изменениях температуры, особенно в начале зимы. По-видимому, быстрые падения температуры создают более высокие локальные термические напряжения. Со временем напряжения выравниваются по длине рельса, когда происходит дополнительное движение и температура стабилизируется.

Средняя температура рельса является критическим фактором при определении термического напряжения, возникшего при данной температуре. Условия его эксплуатации также могут значительно измениться. Среди причин – локальная обработка пути (например, выравнивание пути по уровню и в плане), добавка близких рельсовых накладок и угон пути (продольное смещение рельсов и шпал от действия проходящих поездов в сторону их движения) в связи с перевозкой груза или торможением. Точное продольное напряжение на любом участке рельса в данное время является неизвестным. Создание простой, недорогой и эффективной системы контроля средней температуры рельса позволит определить возможности изломов и изгибов рельсов. Эту проблему пытаются решить и специалисты других стран. В Германии разработана система, где используются магнитные поля для измерения средней температуры рельса и напряжений в рельсе.

На территориях, где нет следящих систем, существует повышенный риск возникновения изломов. Оборудование для обнаружения дефектов в таких зонах может стать чрезвычайно ценным подспорьем для железнодорожной отрасли. Среди возможных решений – ультразвуковой детектор поломанных рельсов. Эта система была разработана в Южной Африке.

Ударные силы зависят от скорости движения поезда, которая рассматривается как основной параметр, влияющий на количество поломок. Чтобы уменьшить частоту выхода рельсов из строя, обычно устанавливают ограничения скорости движения поезда при различных порогах низких температур. Очевидно, требуется дополнительное исследование, чтобы установить оптимальный скоростной режим, позволяющий снизить риск аварий, но при этом обеспечить эффективную работу железной дороги.

Рис. 3. **Нагреватели стрелочных переводов (а). Устройство вдувания горячего воздуха (б)**



а б

Высказывалось предположение, что проблему можно решить путем внедрения искусственного температурного зазора с использованием нагреваемых и теплоизолированных секций, чтобы тем самым вызвать сжимающие силы в примыкающих секциях пути. Вероятно, это позволит компенсировать некоторые из растягивающих напряжений, вызванных низкими температурами. Эти секции можно нагревать, только когда температура понижается до величины, которая ниже определенного, заранее установленного уровня. Практические и экономические вопросы (особенно потребности в энергии) этой идеи предстоит рассмотреть в количественном отношении.

Забитые снегом и обледеневшие стрелочные переводы

Расплавляющие снег устройства, как правило, устанавливаются на магистральных путях. Стрелочные переводы на станциях обслуживаются с использованием горячего или холодного воздуха.

Стрелочные переводы могут оказаться обледеневшими или забитыми снегом, в результате чего перестают работать. Чаще всего такие ситуации возникают при сильном снегопаде, когда обогреватели и воздуходувки не в состоянии справиться с объемом снега. При этом чаще всего приходится прибегать к ручной очистке, используя наряду с простейшим инструментом также ранцевые воздуходувки.

В экстремальных условиях для очистки стрелочных переводов применяются устройства, по сути представляющие собой смонтированные на железнодорожных тележках реактивные двигатели. Опрошенные специалисты полагают, что для подобных целей можно было бы предусмотреть менее дорогие устройства.

Актуальной остается задача создания стрелочных переводов, обладающих повышенной надежностью и способных эффективно работать в условиях сильных снегопадов и обледенения. Известно, что в 70-е годы разрабатывались новые конструкции стрелочных переводов, но на практике они не применялись. В северных странах были испытаны спойлеры (своего рода щитки) различных типов, позволяющие предотвратить снежные заносы на стрелочных переводах. Они имеют высоту примерно 100 мм над головкой рельса и устанавливаются вдоль стрелочных переводов.

Можно вернуться к прежним концепциям или создать более современную. Есть и другой вариант, который, возможно, приведет к более быстрым результатам при умеренных затратах. Речь идет об улучшении характеристик нагревателей и воздуходувок, которые бы обеспечили снижение удельных затрат энергии и труда при техническом обслуживании. ИР

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АГРЕГАТА ITMK3

ТЕКСТ СТАТЬЯ KOBE STEEL В ЖУРНАЛЕ STEEL GURU

Фирма Kobe Steel, Ltd объявила, что первый в мире промышленный агрегат, в котором используется процесс ITmk3®, вступил в действие в США 12 января 2010 г. и сегодня успешно производит металлизованные окатыши. Объемы выпуска этого продукта постепенно увеличиваются в соответствии с рабочими условиями до проектной производительности 50 тыс. т в год.

Процесс ITmk3 был разработан Kobe Steel, а фирма Steel Dynamics Inc (SDI) построила агрегат на заводе Hoyt Lakes в штате Миннесота. Этот процесс, полностью отличающийся от технологии доменной плавки, был открыт в 1994 г. и прошел многие этапы совершенствования. После того как в июле 2004 г. были завершены эксперименты на демонстрационном агрегате в штате Миннесота, фирмы Kobe Steel и SDI создали совместное предприятие Mesabi Nugget Delaware LLC для эксплуатации промышленного агрегата. Его строительство началось в ноябре 2007 г. Kobe Steel обеспечила лицензию на процесс ITmk3, услуги по проектированию, поставку основного производственного оборудования и техническую поддержку. Mesabi Nugget Delaware LLC эксплуатирует агрегат ITmk3 и продает готовую продукцию.

В ходе процесса ITmk3 измельченные железная руда и уголь окомковываются с получением шарообразных окатышей, которые затем подаются в печь с вращающимся подом. В результате восстановления, плавления и отделения шлака получаются металлизованные окатыши.

Сегодня можно отметить ряд несомненных достоинств процесса ITmk3.

1. Высококачественные металлизованные окатыши можно производить за очень короткое время: процесс их получения занимает примерно 10 мин.

2. Сырьем могут служить железорудная мелочь и энергетический уголь, которые трудно использовать при производстве чугуна в доменной печи.

3. Благодаря высокой энергетической эффективности процесса ITmk3 выбросы диоксида углерода примерно на 20 % меньше в сравнении с производством передельного чугуна в доменной печи.

Kobe Steel успешно продвигает процесс ITmk3 на мировых рынках, участвуя в реализации проектов в Северной Америке, Вьетнаме, Индии, России, Австралии, других странах. Общая производительность создаваемых агрегатов составляет несколько миллионов тонн окатышей в год.

Предприятия, эксплуатирующие электродуговые печи, сталкиваются с растущей потребностью в чистом железистом сырье – таком, как доменный чушковый чугун и губчатое железо. Kobe Steel считает процесс ITmk3 самым эффективным ответом на эту потребность. ITmk3 с его низкими выбросами CO_2 и относительно небольшими инвестициями в создание производственных мощностей хорошо подходит для новых предприятий по производству стали в развивающихся странах. В агрегатах, основанных на этом процессе, можно использовать низкокачественные руду и уголь, мало пригодные для производства чугуна в доменной печи, – таким образом уменьшаются расходы на закупку сырья. При этом получается высококачественный продукт – металлизованные окатыши, которые плавятся лучше, чем доменный чушковый чугун.

Что касается компаний, занимающихся добычей и обогащением железной руды, то процесс ITmk3 позволяет им производить продукцию с высокой добавленной стоимостью. В результате они могут выйти на рынки сырья для электродуговых печей, тем самым расширить круг заказчиков в дополнение к традиционных потребителям – компаниям, производящим сталь с использованием доменного чугуна.

Мировая черная металлургия, стоящая перед необходимостью дальнейшего снижения экологической нагрузки на окружающую среду, сталкивается одновременно и с другими вызовами – недостатком сырья на рынке и ростом затрат при увеличении объемов производства стали. В этих условиях использование процесса ITmk3 становится привлекательной альтернативой.

Kobe Steel со своей дочерней компанией Midrex Technologies Inc является мировым лидером в процессах прямого получения железа. Так, процесс MIDREX® используется при производстве почти 60 % всего мирового губчатого железа. Оставаясь одной из ведущих компаний мировой черной металлургии, Kobe Steel расширяет применение процесса ITmk3, считая его революционной технологией в производстве металлизованного сырья. ИР

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОЦЕССА ITMK3

1. СНИЖЕНИЕ НА 20 % ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА БЛАГОДАРЯ ХОРОШЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.
2. НЕТ НЕОБХОДИМОСТИ В АГРЕГАТАХ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ (В КОКСОВЫХ ПЕЧАХ, НА АГЛОФАБРИКАХ И В ОТДЕЛЕНИЯХ ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ ФАБРИК ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОКАТЫШЕЙ).
3. ДАННЫЙ ПРОЦЕСС ПОДХОДИТ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ И МОЖЕТ БЫТЬ РЕНТАБЕЛЬНЫМ ДАЖЕ ДЛЯ МЕЛКИХ РУДНИКОВ.
4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ АГРЕГАТА НЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ ОСОБОЙ СЛОЖНОСТИ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПРОСТЫМ ОБРАЗОМ.

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ

1. ОТСУТСТВИЕ ШЛАКА. МЕТАЛЛИЗОВАННЫЕ ОКАТЫШИ – ЭТО ВЫСОКОЧИСТОЕ ЖЕЛЕЗИСТОЕ СЫРЬЕ, ИМЕЕТ ТАКИЕ ЖЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КАК ЧУШКОВЫЙ ЧУГУН.
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТОГО СЫРЬЯ ПОЗВОЛЯЕТ ПОВЫСИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ. МЕТАЛЛИЗОВАННЫЕ ОКАТЫШИ ПЛАВЯТСЯ ЛУЧШЕ, ЧЕМ ДОМЕННЫЙ ЧУШКОВЫЙ ЧУГУН, ИХ МОЖНО НЕПРЕРЫВНО ПОДАВАТЬ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ПЕЧИ.
3. МЕТАЛЛИЗОВАННЫЕ ОКАТЫШИ ЛЕГКО ТРАНСПОРТИРОВАТЬ И ПЕРЕГРУЖАТЬ. ОНИ ИМЕЮТ ВЫСОКУЮ ПЛОТНОСТЬ, ПОЭТОМУ ПРИ ХРАНЕНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕ ПРОИСХОДИТ ИХ ПОВТОРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ И НЕ ОБРАЗУЕТСЯ МЕЛОЧЬ.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ЗА СЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ АСУ ТП

ТЕКСТ ВЛАДИМИР ПАРШАКОВ, АНДРЕЙ ЧЕВЫЧЕЛОВ, АНДРЕЙ ПОЛИНОВ, МИХАИЛ ГИБАДУЛИН, ИВАН ПРОХОРОВ, ПАВЕЛ ДОВЖЕНКО, АЛЕКСЕЙ КРАСНОБАЕВ, *ООО «АКОММ», ОАО «ММК»*

В последние годы во время ремонтов и реконструкций доменных печей проводится модернизация технических средств сбора, обработки и представления информации. Современные устройства автоматического контроля заменили устаревшие датчики с ферродинамическими и струнными преобразователями. Многократно увеличилась мощность и надежность средств вычислительной техники и коммуникаций, существенно изменились терминальные устройства отображения технологической информации.

Однако созданные при этом автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) доменных печей не соответствуют своему названию, так как не «управляют технологическими процессами». Они мало помогают доменщикам в управлении плавкой в части выдачи рекомендаций о повышении ее эффективности. Фактически на доменных печах предприятий стран СНГ созданы базовые автоматизации (БА, нижние уровни АСУ ТП). Только присоединив к ним верхний уровень (ВУ, математическое моделирование), можно решать технологические задачи управления плавкой.

В настоящей статье представлены результаты проводимой в доменном цехе ОАО «ММК» работы по технологическому насыщению АСУ ТП путем поэтапного внедрения в составе их ВУ математических моделей для контроля, оптимизации и прогноза доменного процесса, объединенных в автоматизированную систему контроля, оптимизации и прогноза доменной плавки (АСКОП ДП). Основанием для внедрения является доказательство адекватности разработанных математических моделей реальным процессам, протекающим в доменной печи, полученное экспериментально на печах ММК, НТМК, КарМК, ЧелМК, «Тулачермет» и анализом их работы с помощью математических моделей по контрольным выборкам данных. Перечень частных систем, входящих в АСКОП ДП, и этапы их внедрения представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Результаты поэтапного технологического насыщения АСУ ТП доменных печей цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»**

№ п/п	Наименование групп систем	Наименование частных систем	Номер печи	Год внедрения
1.1	контроль:	радиального газораспределения	2,4,6,9,10	2006
1.2		окружного газораспределения	2,10	2011
1.3		температуры каждого фурменного очага	2	2011
1.4		протяженности фурменных очагов	все печи	2008
1.5		нагрева горна	все печи	2008
1.6		материального и теплового балансов плавки	2	2012
1.7		режима работы БЗУ	2,10	2010
2.1	оптимизация	газодинамического режима плавки	все печи	2008
2.2		радиального газораспределения	2,4,6,9,10	2011
2.3		теплового состояния печи	все печи	2009
2.4		восстановительных процессов плавки	2	2012
3.1	прогноз	нагрева «шахты» печи	2	2012
3.2		нагрева «горна» печи (Si в чугуне)	2	2011

Примечание. Системы по пунктам 1.6, 2.4 и 3.1 в настоящее время находятся в стадии внедрения и поэтому в данной статье не рассматриваются.

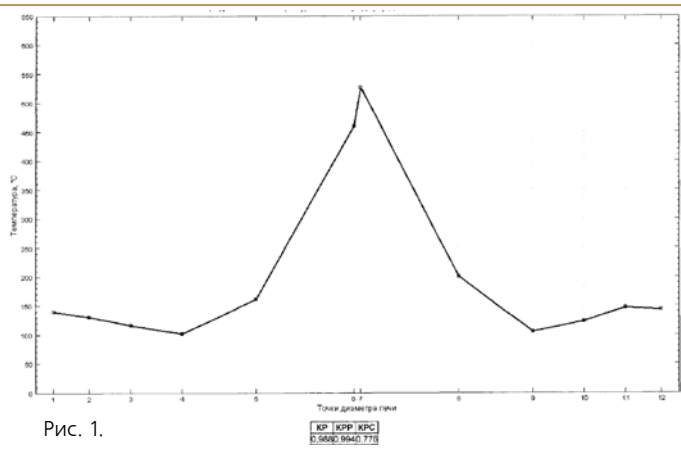


Рис. 1.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВОДИМОЙ РАБОТЫ

Особенностями проводимой работы являются:

– поэтапное внедрение частных систем АСКОП ДП;

– подключение систем к созданным АСУ ТП с использованием их технических средств;

– одновременное внедрение систем на всех печах доменного цеха благодаря разработанным на комбинате интеграционным комплексам АСУ ТП и интерфейсу передачи данных. Передача данных позволяет после передачи на комбинат разработанных программных продуктов и установки их на одном из серверов вычислительного центра доменного цеха подключать к ним любую доменную печь и проводить расчеты по каждой из разрабатываемых систем сразу для всех печей цеха;

– передача результатов расчетов из систем на АРМы мастеров всех печей и руководителей цеха;

– функционирование разрабатываемых систем в режиме on line с автоматической выдачей рекомендаций по управлению доменной плавкой;

– использование опыта создания АСУ ТП доменных печей и их ВУ в СССР, СНГ и за рубежом, полученного во время работы во ВНИПИ САУ (г. Москва), в фирме Siemens (Германия) и во вновь созданной в 1992 г. фирме АКОММ (г. Москва).

Полученные результаты позволили сформировать подход к технологическому насыщению создаваемых и созданных АСУ ТП доменных печей. Системы, которые включены в состав АСКОП ДП, объединены в следующие в три группы:

– контроль доменной плавки;

– оптимизация доменной плавки;

– прогноз доменной плавки.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АСКОП ДП

АСКОП ДП построена с использованием многозвенной клиент-серверной архитектуры: СУБД – сервер приложений (WEB-сервер) – клиент (WEB-браузер).

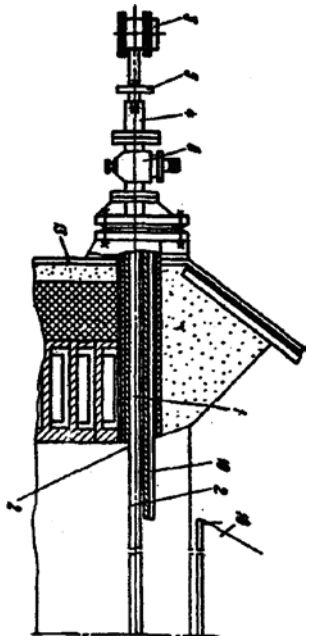


Рис. 2. **Конструкция радиальных многоточечных термопар**

СУБД построена на базе Microsoft SQL Server 2005 Standard Edition. В рамках СУБД реализован автоматический сбор необходимых входных данных, некоторые этапы расчета по математической модели и хранение выходных данных. Расчетная часть реализована с использованием хранимых процедур СУБД на языке TSQL. Все корректировки в расчеты вносятся, не требуя остановки системы. Наиболее требовательные ко времени предоставления результата расчетные модули реализованы на WEB-сервере.

Клиентская часть представляет собой любой WEB-браузер клиентского ПК, подключенного к корпоративной сети предприятия.

Аппаратная часть представляет собой сервер HP Proliant ML370 G4, общий для СУБД и WEB-сервера.

СБОР И ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Контроль достоверности каждого параметра АСУ ТП, используемого моделью, осуществляется несколькими базовыми проверками значений параметров. В их числе следующие.

1. Проверка взаимосвязей определенных параметров. Для некоторых взаимосвязанных параметров технологическим персоналом задаются значения коэффициентов проверочных функций. При отрицательном результате какой-либо из проверок система выдает сообщение, содержащее наименование параметра и функцию, по которой не прошла проверка. Это сообщение передается соответствующим службам для поиска и устранения неисправности.

2. Сравнение значений одних и тех же параметров, полученных как из АСУ ТП, так и из систем ручного ввода. Для некоторых параметров (химический состав колошникового газа, содержание кислорода в дутье) присутствует два вида источников информации: приборы автоматического газового анализа и ручной отбор проб с последующим анализом в лаборатории. При превышении определенного порога различия значений система выдает сообщение, содержащее наименование параметра, и предлагает технологу определить источник сигнала для математической модели. Также это сообщение передается соответствующим службам для поиска и устранения возможной неисправности.

Реализация проверок данных АСУ ТП, поступающих в реальном времени, позволяет повысить оперативность реагирования персонала, отвечающего за обслуживание АСУ ТП доменного цеха, на возникающие ошибки в данных и устранять их в рабочем порядке. Также появляется возможность отсекать некорректные данные от входного потока математической модели и блокировать выдачу неправильных рекомендаций технологическому персоналу цеха.

ГРУППА СИСТЕМ «КОНТРОЛЬ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ»

Задачи, решаемые в группе систем «Контроль доменной плавки», имеют не только самостоятельное значение, но и используются в расчетах в группах систем «Оптимизация доменной плавки» и «Прогноз доменной плавки».

Контроль радиального газораспределения

Для контроля радиального газораспределения на доменных печах, оборудованных бесконусным загрузочным устройством (БЗУ), используются показания:

– предложенных ООО «АКОММ» стационарных радиальных многоточечных термопар (РМТ). На рис. 1 представлена средняя за 13.11.2011 радиальная кривая для ДП-2. По запросу пользователя на экранах видеотерминалов на печах № 2, 4, 6, 9 и 10 выводятся средние кривые за последние «выпуск» (период работы печи от закрытия до закрытия чугунной летки на смежных выпусках), смену и сутки;

– предложенных ООО «АКОММ» периферийных термопар над уровнем засыпи (ПТН), спаи которых расположены на том же расстоянии от защитных плит колошника (ЗПК), что и первые точки РМТ;

– термопар в газоотводах печи (ТГП).

Наиболее сложная задача – разработка конструкции РМТ. В результате промышленной эксплуатации с 1959 г. на доменных печах НТМК, ММК, КарМК, ЧелМК и «Тулачермет» различных вариантов РМТ было установлено, что наиболее простой в изготовлении и надежной в эксплуатации является конструкция в виде пучка трубок с размещенными в них термоэлектродами, защищенная сверху от воздействия ссыпающихся с большого конуса шихтовых материалов специальным защитным чехлом (рис. 2). Данный принцип сохранился при установке РМТ на пяти печах ММК, оборудованных БЗУ. Для этого продлили защитный кожух до оси печи. Основное отличие в том, что во избежание искажения картины распределения газа (РГ) защитный кожух не охлаждается. Конструкция кожуха обеспечивает максимальный срок его службы до пяти лет. Гарантированный срок службы термоэлектродов – не более одного года. Замена пучка трубок должна проводиться в соответствии с этим сроком. Замена его проводится на небольшой остановке печи. Замена кожуха проводится на плановой остановке печи.

Контроль окружного газораспределения

Недостаточная эффективность контроля окружного газораспределения объясняется следующими причинами:

– низ ДП – отсутствие надежных средств контроля распределения дутья по фурмам и температуры газа в каждом фурменном очаге;

– верх ДП – из-за того, что при контроле распределения температуры газа по окружности

Рис. 3. **Распределение температур фурменных очагов для ДП с 19.12.2011 09:15 по 19.12.2011 09:20**

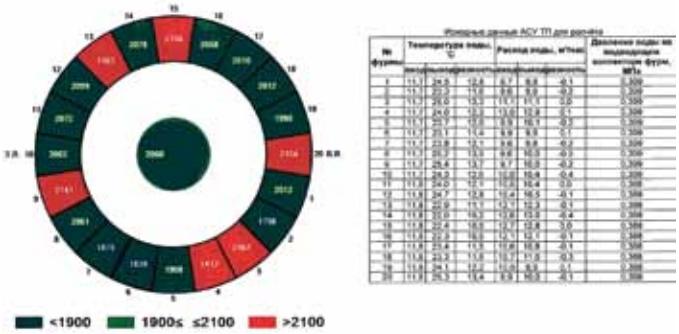


Рис. 4. **Изменение температур газа и продуктов плавки в горне ДП с 04.03.2012 по 13.04.2012**

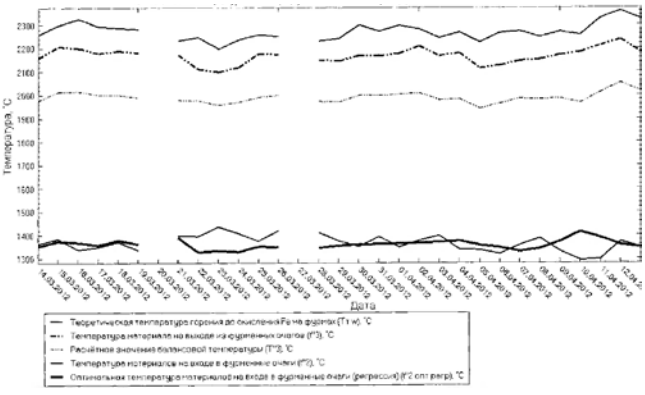


Рис. 5. **Коэффициенты радиальной неравномерности для ДП (усреднение за выпуск) с15.02.2012 по 22.02.2012**

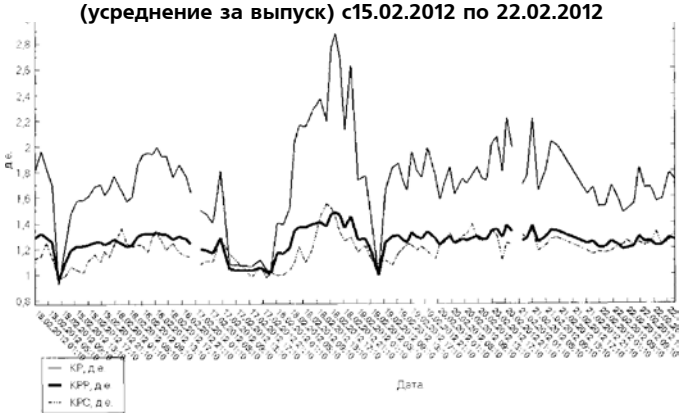
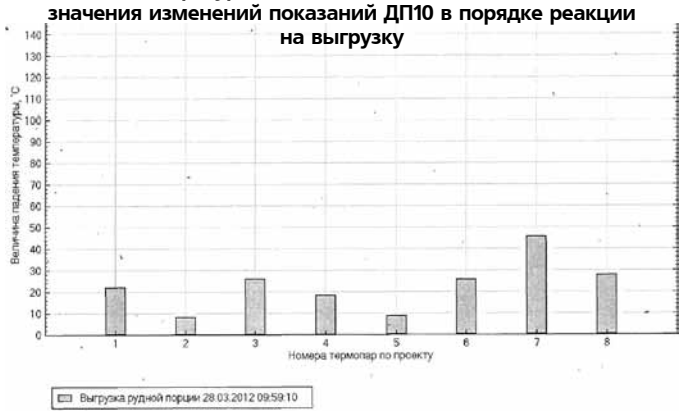


Рис. 6. **Температура газа под газоотводами. Абсолютные значения изменений показаний ДП10 в порядке реакции на выгрузку**



колошника с использованием периферийных термопар, установленных под ЗПК, невозможно оценить то, насколько равномерно распределяет шихту по окружности колошника используемый засыпной аппарат.

Роль контроля окружного распределения шихты особенно возросла в связи с внедрением БЗУ лоткового типа. Объясняется это следующими причинами:

– невозможностью контроля «замыкания колец» шихты при попадании ее на поверхность ранее загруженной шихты (об этом убедительно сказал В.И. Большаков еще в 1990 г.: «Если учесть, что по данным наших исследований на доменных печах, оснащенных БЗУ, продолжительность истечения шихтовых материалов изменяется на ± 20 % от установленной величины, то становится ясным, что замкнутые кольца будут не правилом, а редкой случайностью»);

– сложным механизмом истечения материалов из бункера БЗУ при загрузке в него двух и более видов шихты, отличающихся по гранулометрическому составу и насыпному весу.

В дополнение к периферийным термопарам под ЗПК (ПТП) и к термопарам в газоотводах печи (ТГП) были установлены по 4–8 штук ПТН, описанных ранее.

Контроль температуры каждого фурменного очага

Одной из количественных характеристик фурменного очага является его температура. Однако до настоящего времени контроль температуры фурменных очагов (Тфо) осуществляется визуально по их светимости, которую технологический персонал оценивает периодически через гляделки фурменных приборов. Такой контроль носит субъективный характер. Было принято, что для оперативного контроля Тфо наиболее целесообразно использовать информацию о тепловом воздействии фурменного очага на тело воздушной фурмы. Данная задача на ДП-2 была решена с помощью датчиков теплосъема, использующих датчики расхода воды на охлаждение воздушных фурм, установленных для контроля их прогара, и разработанной математической модели расчета Тфо. Алгоритм расчета позволяет по фактическим параметрам работы печи и данным о количестве тепла, отводимого от дутьевой фурмы с охлаждающей водой, определять температуру фурменного очага. Результаты расчета температур во всех фурменных очагах ДП № 2 представлены на рис. 3.

Контроль протяженности фурменных очагов

Статистической обработкой имеющихся в литературе и собственных экспериментальных данных по определению протяженности фурменного очага получена расчетная формула вида:

$$L_{фо}/d_ф = m(B/K_ф)^n,$$

где $d_ф$ – диаметр установленных на печи фурм;

B – комплексный параметр, полученный из соотношения кинетической энергии струи горячего комбинированного дутья и потенциальной энергии потока кокса, сгорающего у фурм в дутье известного состава;

$K_ф$ – коэффициент формы, учитывающий взаимосвязь протяженности и высоты фурменного очага;

m и n – параметры, получаемые статистической обработкой экспериментальных данных.

Полученные данные о протяженности фурменных очагов на всех доменных печах цеха имеют как самостоятельное значение, так и являются необходимым условием для решения задачи контроля нагрева горна.

Контроль нагрева горна

Для контроля нагрева горна используется математическая модель газодинамических, тепло- и массообменных процессов в двух нижних зонах печи: в фурменной зоне (зона 3) и в зоне окончательного формирования состава и нагрева продуктов плавки (зона 4).

В модели учитываются данные следующих задач:

1) образование и размеры фурменных очагов;

2) горение кокса и его заменителей;

3) прохождение продуктов плавки через фурменные очаги и окисление в них ранее восстановленного железа;

4) распределение выделившегося от окисления железа тепла между продуктами плавки и газами;

5) передача тепла излучением от газов к оболочке фурменных очагов и расплаву;

6) термохимические процессы, протекающие в зоне «доводки», включая вторичное восстановление железа, окислившегося в фурменных очагах, и прямое восстановление примесей чугуна;

7) физические потери тепла, в том числе с охлаждающей фурмы водой.

Наиболее сложными для решения были задачи 1, 3, 4 и 5.

Для расчета протяженности фурменного очага (Lфо) (задача 1) использовали выражение, представленное в предыдущем разделе.

Возможность расчета $L_{фо}$, а также решение задач 3, 4 и 5 позволили определить комплексные параметры (КП), характеризующие процессы в фурменных очагах. В число КП входят:

– температура продуктов плавки на входе в фурменную зону (t'_3) или, что то же самое, на выходе из «шахты» печи (t''_2), так как численно они равны;

– температура оболочки фурменных очагов;

– балансовая температура газов в фурменных очагах (T''_3), вступающая в теплообмен с шихтовыми материалами на второй ступени теплообмена и значительно отличающаяся по своей физической сущности от теоретической температуры горения;

– температура продуктов плавки на выходе из фурменных очагов (t''_3);

– температура продуктов плавки на входе в зону «доводки» (t'_4).

Некоторые КП, рассчитанные для ДП-8, представлены на рис. 4.

Контроль режима работы БЗУ лоткового типа

Описанные ранее датчики (РМТ, ПТН и ТГП) позволили контролировать радиальное и окружное распределение шихты при применении БЗУ, используя «обратную связь», т.е. контролируя изменение температуры газа в различных точках радиуса и окружности печи после выгрузки шихты из бункера БЗУ.

Анализ показал, что основной особенностью радиального газораспределения на доменных печах, оборудованных БЗУ лоткового типа (по сравнению с печами, оборудованными двухконусными засыпными аппаратами), является значительное его непостоянство, вызванное неконтролируемым изменением распределения шихтовых

Рис. 7. **Температура газа под газоотводами. Абсолютные значения изменений показаний ДП10 в порядке реакции на выгрузку**

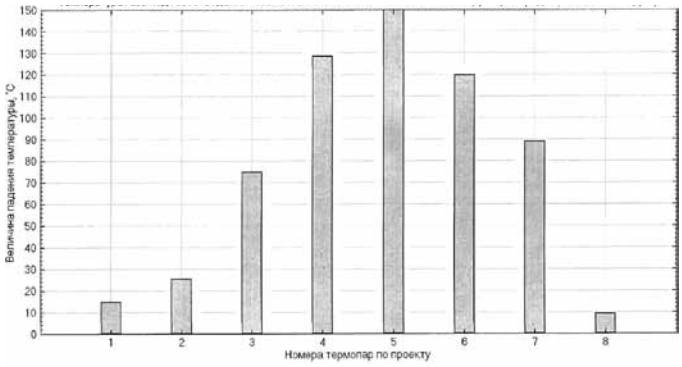
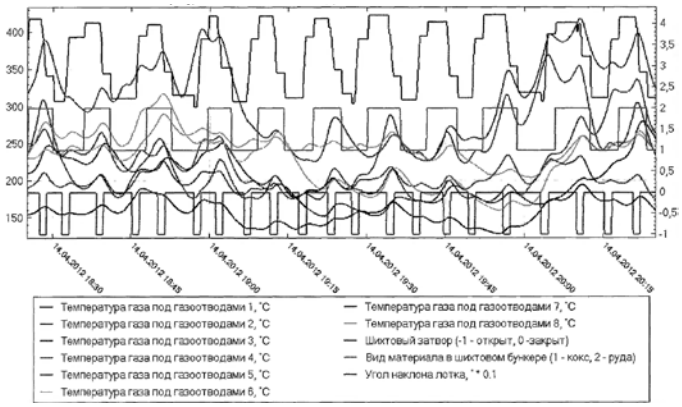


Рис. 8. **Температура газа под газоотводами с 14.04.2012 18:25 по 14.04.2012 20:25**



материалов по радиусу печи. Так, например, для ДП-4 за период с 15 по 24 февраля с.г. колебание значений КР (коэффициент радиальной неравномерности для ДП) при усреднении температур, участвующих в его расчете, составляло от 1,0 до 2,9 за «выпуск» (рис. 5). Это не только снижало индекс степени использования (ИСО) от 48 до 42 %, но и спускало такую неравномерность вниз печи.

Сложность использования БЗУ лоткового типа в достижении равномерного окружного распределения шихты возникает не только из-за отсутствия замыкания колец (о чем было сказано ранее). Влияние выгрузки шихты на изменение температуры газа, выходящего из периферийной части печи, изучали путем построения графиков по образцу рис. 6 и 7 для ДП-10. На рисунках обращают на себя внимание большие разницы в величинах падения температур в разных точках периферии печи, например, за две последовательные выгрузки железорудной порции шихты (ЖРШ). Так, при выгрузке в 9 ч. 59 мин 28.03.2012 ЖРШ распределилась по периферии печи практически равномерно (рис. 6). При следующей выгрузке в 10 час. 11 мин., по-видимому, из-за сложного механизма истечения слоев агломерата и окатышей из бункера БЗУ ЖРШ распределилась (как видно из рис. 7) очень неравномерно. Можно предположить, что в районе периферии печи с 3-й по 7-ю точки окатышей сосредоточилось больше, чем агломерата. Такая неравномерность не может не сказаться отрицательно на работе печи.

Все это показывает сложность использования БЗУ лоткового типа для достижения заданного радиального и окружного газораспределения. Преимущества такого ЗУ могут стать его недостатками. Заслуживает внимания мнение одного из ведущих специалистов в вопросах управления загрузкой доменных печей В.А. Доброскока: «Факт установки лоткового БЗУ на доменной печи сам по себе не гарантирует ее успешной работы. При отсутствии эффективной технологической концепции… его регулирующие возможности используются не полностью. При этом не исключено, что доменные печи, оснащенные иными загрузочными устройствами, работают с сопоставимыми или даже с лучшими показателями, чем доменная печь, оснащенная лотковым БЗУ».

Для контроля работы БЗУ на ДП-2 и ДП-10 используется программа, которая автоматически контролирует и фиксирует следующие параметры работы БЗУ (рис. 8): вид загружаемых материалов (рудная и коксовая части), время открытия затвора БЗУ, углы наклона лотка БЗУ при каждой выгрузке шихты.

ГРУППА СИСТЕМ «ОПТИМИЗАЦИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ»

Совершенство доменной печи как агрегата для выплавки металла состоит в том, что все основные процессы в ней (газодинамические, тепло- и массообменные) имеют оптимальные значения, и эффективность доменной плавки будет тем выше, чем ближе к оптимальному уровню они находятся.

Система оптимизации расхода дутья

Система предназначена для определения такого количества подаваемого в доменную печь дутья, при котором образуется оптимальное для данных сырьевых и эксплуатационных условий плавки количество газового потока, проходящего через столб шихтовых материалов. При этом критериями оптимизации могут быть или минимальный расход кокса, или максимальная производительность печи. Выбор критерия оптимизации осуществляется технологическим персоналом исходя из нужд цеха и требований дальнейшего передела чугуна.

Наши экспериментальные и расчетные исследования показали, что для достижения минимального расхода кокса надо вести доменную плавку на границе исчезновения резервной зоны теплообмена, а максимальной производительности печи – на границе дополнительного разрыхления шихты.

На рис. 9 представлены, для примера, результаты определения оптимального расхода дутья для ДП-4. Обращает на себя внимание то, что изменение условий работы комбината привело к тому, что расход дутья (2882 м^3/мин) практически соответствовал (13.04.2012) оптимальному расходу (2874 м^3/ мин), обеспечивающему минимальный расход кокса (439 кг/ т чугуна).

Система оптимизации радиального газораспределения

Система предназначена для определения и достижения оптимального радиального газораспределения (ОРГ), при котором достигается максимальное использование химической энергии газового потока в доменной печи. Необходимо отметить, что один контроль РГ, без определения ОРГ с помощью данных РГ, не может повысить эффективность плавки.

Для количественной оценки РГ используются следующие три коэффициента (см. рис. 5):

КР = $t_п$ / $t_ц$, дол. ед.,

КРР = $t_п$ / $t_р$, дол. ед.,

где $t_п = 0{,}4t_1 + 0{,}4t_2 + 0{,}2t_3$ – температура газа в периферийной части колошника, °С;

$t_ц = 0{,}2t_3 + 0{,}4t_4 + 0{,}4t_5$ – температура газа в центральной части колошника, °С;

$t_р = 0{,}2t_1 + 0{,}2t_2 + 0{,}2t_3 + 0{,}2t_4 + 0{,}2t_5$ – температура по радиусу печи, °С;

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 – показания термопар в пяти равновеликих по площади кольцах колошника (в центре печи-круга), считая от периферии к центру.

КРС = $t_{пс}$ /$t_{кг}$, дол. ед.,

где $t_{пс}$ – средняя температура периферийного газа, которую находят усреднением значений термопар ТПН, °С, $t_{кг}$ – средняя температура колошникового газа, которую находят усреднением значений термопар ТГП, °С.

Для количественной оценки расхода газового потока используется показатель степени использования СО.

Система оптимизации теплового состояния печи

Ранее было показано, что критериев теплового состояния печи два. Это определяет сложность оптимизации теплового состояния печи. Было установлено, что критериями теплового состояния печи являются:

– температура материалов на выходе из «шахты» (шахта, распар и заплечики) печи (t''_2);

– температура продуктов плавки на выходе из «горна» печи (t''_4).

Нашими исследованиями показано, что важным фактором, оказывающим иногда решающее влияние на работу печи, является температура материалов на вы-

Рис. 9. **Зависимость параметров работы ДП 4 (расход холодного дутья, м³/мин)**

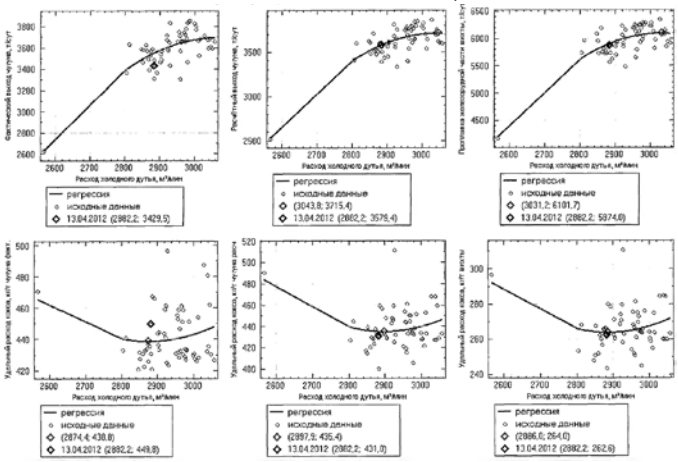
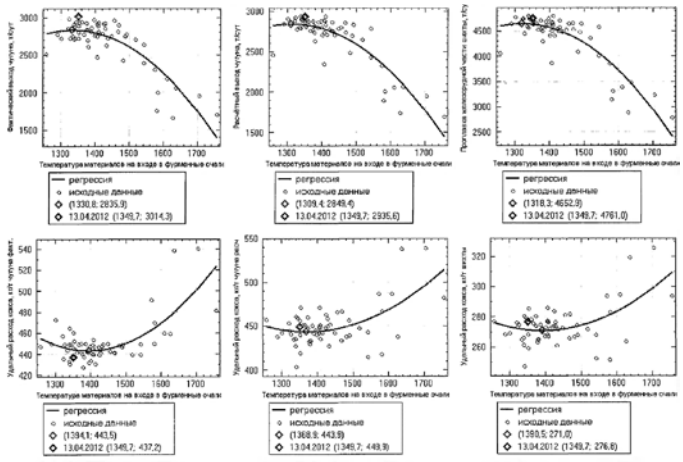


Рис. 10. **Зависимость параметров работы ДП 8 от температуры материалов на входе в фурменные очаги**



ходе из фурменных очагов (t''_3). Превышение некоторого её значения может привести к массовому горению воздушных фурм.

Для определения оптимального теплового состояния печи система осуществляет следующие операции: непрерывный контроль текущих значений t''_2 и t''_4; определение оптимальных значений t''_2 и t''_4; сравнение текущих и оптимальных значений t''_2 и t''_4; выбор по величине и знаку разницы между текущими и оптимальными значениями каждого критерия управляющих воздействий «сверху» (рудной нагрузкой) и «снизу» (параметрами дутья) для достижения оптимального теплового состояния печи.

Оптимальные значения t''_2 определяются двумя способами:

– по уравнению регрессии (см. рис. 4), связывающему оптимальные значения t''_2 с выходом шлака;

– по результатам эксплуатации системы после определения экстремумов зависимостей расхода кокса и производительности печи от t''_2 (рис. 11).

Важно подчеркнуть, что оптимальные значения t''_2, рассчитанные двумя способами, на всех печах практически совпадают. Так, для ДП-8 значения t''_2 опт, рассчитанные (13.04.12) по уравненмю регрессии, составляли 1350 °С (см. рис. 4), а полученные в результате обработки экспериментальных данных (рис. 10) – 1380 ° С. Полученные данные свидетельствует, во-первых, о правильности действия технологического персонала ДП-8 и руководства цеха: поддерживать соотношение расходов природного газа и кислорода, обеспечивающего достижение $t''_2 \approx 1400$ °С, а во-вторых, о справедливости используемой нами расчетной схемы.

Изменения расходов кислорода и природного газа для всех печей цеха для достижения их оптимального теплового состояния фиксируются ежесуточно в специальной таблице, которую можно выводить на экран по запросу пользователя.

ГРУППА СИСТЕМ «ПРОГНОЗ НАГРЕВА ПЕЧИ»

Данная группа систем предназначена для прогноза нагрева печи при неконтролируемых изменениях условий плавки. Исходя из принятого условия о двух критериях теплового состояния печи предлагаются две системы: «Прогноз нагрева шахты печи» (в данной статье не рассматривается) и «Прогноз нагрева горна печи».

Система прогноза нагрева горна печи

Система предназначена для прогнозирования содержания кремния в чугуне предстоящего выпуска с использованием самонастраивающейся (по результатам эксплуатации) статистической модели.

Отличительной особенностью работы доменных печей комбината является тот факт, что данные о содержании кремния (Si) в чугуне поступают на печь с большим опозданием – от трех до пяти часов. Из рис. 11 видно, что при открытии выпуска № 10735 на ДП-2 данные о химическом анализе чугуна были в системе только за выпуск № 10732. В этом случае проведение прогноза содержания кремния с использованием данных химического анализа чугуна теряло смысл, так как обязательным условием прогноза содержания кремния на следующем выпуске (n+1) является наличие данных о содержании кремния в последнем выпуске (n).

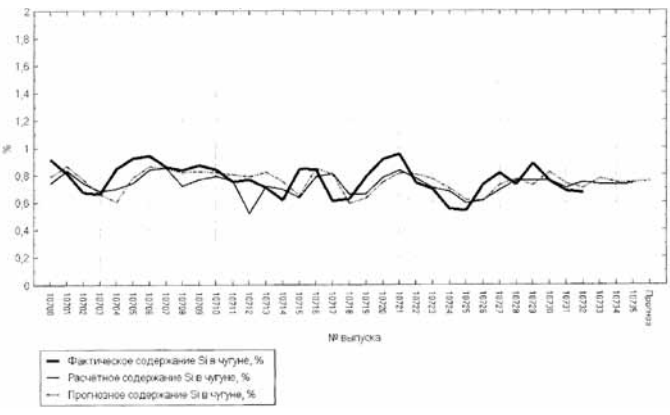
Поэтому при разработке системы для ДП-2 были приняты следующие решения:

1) рассчитывать содержание кремния на выпуске n после получения сигнала об открытии чугунной летки на этом выпуске с использованием данных о теплосъеме и температуре фурменных очагов на выпуске n. Результаты такого расчета представлены в виде кривой «Расчетное содержание Si в чугуне» на видеокадре «Изменение содержания Si в чугуне» (рис. 11). Это позволило оценивать содержание Si с большой степенью вероятности еще до выхода чугуна из печи;

2) прогнозировать содержание кремния на следующем выпуске (n+1), используя фактические значения содержания кремния, теплосъёма и температуры фурменных очагов на выпуске n. В случае отсутствия фактических значений содержания кремния в последних по времени выпусках (n – 1, n – 2 и т.д.) их значения берутся из пункта 1.

Результаты такого прогноза представлены в виде кривой «Прогнозное содержание Si в чугуне» (рис. 11). Из представленного рисунка видно прогнозное содержание кремния в чугуне на выпуске (n+1) (№ 10736). Из этого рисунка также виден довольно высокий уровень прогноза кремния в чугуне в сравнении с фактическими значениями.

Рис. 11. **Изменение содержания кремния в чугуне для ДП 2 с 24.03.2012 по 26.03.2012**



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленных данных видно, что используемые математические модели и современные технические средства позволяют технологически насыщать создаваемые и уже созданные АСУ ТП доменных печей. Это помогает технологическому персоналу доменных печей эффективно управлять плавкой для достижения максимальной производительности и минимального расхода кокса как при данных сырьевых и эксплуатационных условиях плавки, так и при перспективных, особенно при вдувании ПУТ.

СЕМИНАР В КИТАЕ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ТЕКСТ АЛЕКСЕЙ ТРЕТЯК, *редактор «ИР» по аглококсодоменному направлению*

По инициативе ОАО «Черметинформация» и компании Minmetals (Китай) с участием холдинга «Метинвест» (Украина) в декабре 2011 г. в Китайской Народной Республике состоялся семинар по аглодоменному производству. В семинаре приняли участие представители ОАО «Мариупольский металлургический комбинат «Азовсталь»», ОАО «Енакиевский металлургический завод» и ОАО «Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь».

Тема семинара была сформулирована следующим образом: «Изучение опыта китайских предприятий по повышению эффективности работы доменных цехов и возможности его использования при проведении капитальных ремонтов доменных печей и реконструкции доменных цехов предприятий стран СНГ». Программой были предусмотрены:

– ознакомление с работой крупнейшего Чунцинского Института проектирования металлургических заводов CISDI;

– посещение Шанхайского металлургического комбината (склады по подготовке сырья для агломерационной фабрики, агломерационная фабрика, доменная печь объемом 5800 м^3, установки по подготовке и вдуванию пылеугольного топлива, комплекс по внепечной обработке чугуна, установки сухой очистки колошникового газа);

– проведение семинара в Пекине с участием специалистов проектных институтов Китая и компании Minmetals.

ОПЫТ КОМПАНИИ CISDI

CISDI предоставляет заказчикам услуги по технологии доменной плавки с использованием высокотемпературного комбинированного дутья и пылеугольного топлива (ПУТ). Она также выполняет проектирование комплекса доменных печей объемом свыше 5000 м^3 «под ключ» и может выступать в качестве генерального подрядчика. Эта компания выполнила проекты и была генеральным подрядчиком на строительстве 162 доменных печей общим объемом более 200 тыс. м3, включая следующие ДП:

объемом более 4000 м^3 – 15 печей,

4000 – 2000 м^3 – 23,

2000 – 1000 м^3 – 33,

менее 1000 м^3 – 91.

В Китае CISDI предоставила услуги генерального подряда для строительства 29 доменных печей объемом от 1000 до 4000 м^3. Она также выполнила заказы иностранных фирм. Успешно прошли поставки доменных печей в Индию, Германию, Японию, Турцию, Бразилию.

Проектный институт в Чунцине имеет богатый опыт в технике проектирования современных доменных печей. Конструкция и футеровка печей предусматривают их длительную эксплуатацию без проведения капитального ремонта.

Конструкция воздухонагревателей предусматривает работу с температурой дутья до 1200 – 1300°С и различные способы установки горелочных устройств (внутренние камеры горения, выносные камеры горения, купольные камеры горения типа конструкции Калугина).

Широкое применение при строительстве ДП получили воздухонагреватели с купольной горелкой конструкции «Фирма Калугин» с проектной температурой дутья 1300°С и сроком эксплуатации 30 лет. При проектировании воздухонагревателей применяется теплотехническая расчетная модель. В период эксплуатации используется имитационная расчетная программа, позволяющая управлять работой горелочного устройства. Это позволяет получать устойчиво высокую температуру горячего дутья при работе на доменном и смешанном газах с высокой теплотой сгорания.

Комплекс подготовки и вдувания пылеугольного топлива предусматривает подачу ПУТ в количестве до 250 кг на тонну чугуна с высокой степенью равномерного распределения по воздушным фурмам.

Таблица 1. **Виды горелочных устройств в доменных печах, построенных по проектам и генеральному подряду CISDI, ед.**

Объем доменной печи, м^3	Внешняя камера горения	Внутренняя камера горения	Купольная камера горения	Всего
1000 – 2000	13	8	42	63
2000 – 3000	24	4	16	44
3000 – 4000	7	12	0	19
Более 4000	4	36	20	60
Всего	48	60	78	186

При проектировании автоматизированной системы управления CISDI использует принцип сочетания трех частей (электрические установки, КИП и компьютер) совместно с системой управления и контроля в системе управления и созданием центра службы теледиагноза.

Основные математические модели:

1. Модель GO-STOP для определения режима работы доменной печи.

2. Модель разгара горна и лещади доменной печи.

3. Модель распределения шихты на колошнике доменной печи.

4. Модель обработки данных, взятых КИП внутри доменной печи.

5. Модель предвидения тепловых показателей и нагрева чугуна.

6. Экспертная система работы доменной печи для специалистов доменной печи.

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ:

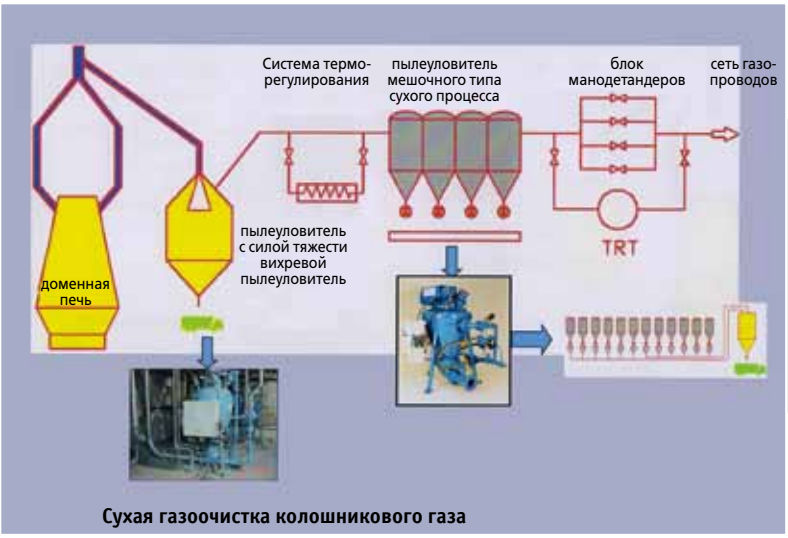
1. Управление системой взвешивания загрузки железорудными материалами и коксом.

2. Управление загрузкой доменной печи.

3. Управление системой распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи.

4. Управление системой очистки колошникового газа и системой пылеудаления.

5. Управление системой пылеприготовления и системой инжекции угольной пыли в доменную печь.



Сухая газоочистка колошникового газа

Схема удаления пыли с секции

Проекты предусматривают комплексные экологические и энергосберегающие мероприятия, в том числе установку систем пылеулавливания от источников выбросов с литейного двора при выпуске чугуна. Для снижения концентрации пыли в чистом колошниковом газе используются гравитационные и циклонные пылеуловители с системой влажного и сухого пылеулавливания. Имеются решения в области обработки газовой пыли, снижения источников шума и обработки охлаждающей воды. В проектах заложено строительство установок по использованию физической энергии колошникового газа. Данная технология успешно применяется в сочетании с сухой очисткой колошникового газа. Используется технология утилизации тепла дымовых газов воздухонагревателей доменной печи. Особое внимание уделяется установкам припечной грануляции шлака.

СЕМИНАР КОМПАНИИ MINMETALS

В Пекине компания Minmetals провела семинар по вопросам организации строительства металлургических объектов на условиях «под ключ». Участниками мероприятия стали специалисты организаций и ведущих институтов по комплексному проектированию складов приема материалов, агломерационных фабрик с полным циклом производства и систем транспортировки сырья и подготовленного железорудного материала и кокса к доменным печам. На семинаре приводились примеры реализации крупных инвестиционных проектов в Китае, Индии, Бразилии, России.

Были рассмотрены вопросы технологии агломерации и применяемое оборудование, позволяющее повысить качество агломерата. Также рассматривались технологии транспортировки и вдувания ПУТ. Накопленный двадцатилетний опыт эксплуатации доменных печей с использованием ПУТ в Китае позволил отработать как саму технологию, так и оборудование по подготовке и использованию ПУТ.

Пневматический трубопроводный транспорт с уплотнением позволяет транспортировать подготовленное пылеугольное топливо на расстояние до 1500 м со скоростью до 300 т/ч. Сформулированы и осуществлены при проектировании, создании оборудования и строительстве комплексов по вдуванию ПУТ в доменные печи основные требования: постоянное качество подготовленного ПУТ, точность и стабильность подачи топлива к воздушным фурмам доменной печи. Эти требования достигаются благодаря измерению и регулированию подачи ПУТ в фурменные приборы в зависимости от технологических особенностей работы доменной печи. Оборудование по вдуванию ПУТ выполняется на высоком уровне и обеспечивает соблюдение экологических норм. Технология точного вдувания предусматривает использование насоса вращательного или спирального питания. Питательное устройство играет ключевую роль в системе пылевдувания. Высокие показатели по равномерности подачи ПУТ достигнуты при использовании устройства вращательного питания. По взвешиванию и замеру точность составляет ±0,5 %. Регулирование количества осуществляется за счет регулирования скорости вращения лотка по заданной технологии. Вращающийся питатель характеризуется высокой износостойкостью – до 8 тыс. ч.

В КНР используются типовые системы вдувания ПУТ в доменные печи:

1. Бункера последовательного соединения + магистральный трубопровод + распределитель.

2. Бункера последовательного соединения + вращательный питательный насос.

3. Параллельные бункера (бункер + магистральный трубопровод + распределитель).

4. Прямое вдувание ПУТ в воздушные фурмы (без распределителя).

Развитие технологии доменной плавки с использованием пылеугольного топлива в Китае позволило повысить технико-экономические показатели работы доменных печей. Лучшие удельные показатели расхода на тонну чугуна при этом составляют 250–270 кг/т скипового кокса и 230–220 кг/т пылеугольного топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный семинар и ознакомление с объектами металлургического производства в КНР открывают возможность привлечения компании Minmetals к участию в проектировании и сооружении новых объектов и реконструкции существующих агрегатов черной металлургии на условиях фиксированной стоимости и сроков строительства под банковские гарантии, с предоставлением кредита на длительный срок.

Перспективные направления сотрудничества между организациями и компаниями Китая и предприятиями и холдингами металлургической промышленности стран СНГ могут быть организованы в следующих направлениях:

– презентация компании Минметалс инжиниринг с представлением ее опыта в строительстве новых и реконструкции существующих объектов металлургического производства в мире, в том числе в странах СНГ;

– участие компании Минметалс инжиниринг в капитальных ремонтах первого разряда доменных печей металлургических предприятий;

– поставки компанией Минметалс Инжиниринг отдельных позиций оборудования для доменных печей (засыпные аппараты, оборудование для вдувания пылеугольного топлива, фурменные приборы, газоочистное оборудование, приборы управления технологическим процессом и автоматизации, огнеупоры и др.);

– выступление российских и украинских специалистов, обмен мнениями по возможности использования китайского опыта при модернизации доменных цехов и агломерационных производств на металлургических предприятиях стран СНГ.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ С УЧАСТИЕМ РОССИЙСКОГО ИНЖИНИРИНГА

ТЕКСТ АЛЕКСАНДР КУКЛЕВ, *генеральный директор ЗАО «КОРАД», д.т.н.*
ВЛАДИМИР ТИНЯКОВ, *ведущий научный сотрудник ЗАО «КОРАД», к.т.н.*

Создание современного процесса непрерывной разливки стали представляет собой сложную инженерную и конструкторскую задачу, требующую высокой квалификации и большого опыта от специалистов проектных организаций, металлургических предприятий и заводов металлургического машиностроения. Несмотря на трудности прошедшего периода, некоторые организации, например ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ» г. Орск, ОАО «Уралмаш», сохранили научный задел и кадровый потенциал и приобрели опыт эксплуатации современных УНРС. Не стоит забывать о возможностях появившихся новых инжиниринговых фирм. Хотя они не принадлежат к числу крупных компаний, но зато обладают способностью динамично перестраиваться под возникающие научно-технические задачи и восприимчивы к передовым разработкам.

Одна из таких фирм – ЗАО «КОРАД» является ассоциированным членом ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» и в рамках взаимодействия с институтом выполняет на металлургических заводах проекты, связанные с разработкой, изготовлением и внедрением элементов металлургического оборудования и материалов. За 20 лет своего существования фирма создала собственные методы решения задач. Основа этих методов – комплексность. За это время приобретен опыт и разработана концепция поузловой модернизации УНРС в рамках капитального ремонта.

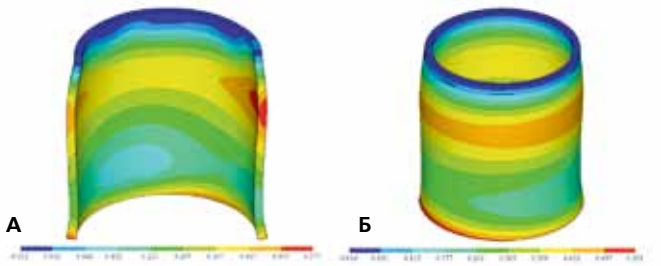


Рис. 1. **Распределение нагрузок в гильзе конструкции действующей импортной УНРС (А) и гильзе, разработанной фирмой «КОРАД» (Б).**

В непрерывной разливке стали присутствует множество сложных технических, физико-химических и организационных проблем, а также связей с предыдущими и последующими металлургическими переделами. Для решения этих проблем проводится комплексное обследование технологии и оборудования, начиная от шихтовки плавок, выплавки полупродукта в печах и конвертерах, внепечной обработки, процессов на УНРС и заканчивая деформационной обработкой стали.

Имеется опыт аудита оборудования и технологии производства слябовой, блюмовой, сортовой и круглой заготовки с проведением модельных расчетов кристаллизации слитка, распределения температур и нагрузок как на слиток, так и на элементы оборудования УНРС и взаимодействия элементов оборудования и технологии выплавки и разливки на образование дефектов заготовки. В качестве примера на рис. 1 показаны результаты расчета распределения температур и деформации гильзы кристаллизатора для разливки круглой заготовки. По этим результатам установлены причины и место образования трещин в заготовке и разработаны технические рекомендации по совершенствованию конструкции кристаллизатора.

Так как УНРС является дорогостоящим оборудованием (от 15 до 150 млн евро), то не всегда имеется возможность полностью заменить устаревшую машину современной. Вместо этого можно обновить ключевые узлы, от которых зависят качество непрерывнолитой заготовки, производительность и себестоимость: кристаллизатор, механизм качания, систему вторичного охлаждения и др. Таким образом реализуется гибкий подход к модернизации оборудования с учетом производственных задач и финансовых возможностей заказчика. Следует отметить, что уровень технических решений поставляемого импортного оборудования не всегда соответствует современным мировым достижениям, и в этих случаях также требуется совершенствование узлов.

Рис. 2. **Кристаллизатор**

Примером гибкого подхода служит модернизация вертикальной УНРС электросталеплавильного цеха Череповецкого металлургического комбината, проведенная совместно с ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ». В модернизированной УНРС реализованы следующие технические решения:

– установлен новый тонкостенный кристаллизатор с плитами из холоднокатаной меди с фрезерованными каналами охлаждения (рис. 2);

– впервые в России реализован отечественный образец рессорного механизма качания с гидравлическим приводом (рис. 3);

– изготовлена и внедрена система мягкого водовоздушного вторичного охлаждения с современной системой автоматического управления;

– впервые в России реализованы технология и отечественное оборудование (рис. 4) обжатия сляба с не полностью затвердевшей жидкой сердцевиной (мягкое обжатие), позволившее на 30 % увеличить скорость разливки при существенном улучшении макроструктуры сляба;

– обновлены привод вытягивания, машина газовой резки слябов и другие системы УНРС.

Модернизация УНРС позволила производить металл для толстого листа со специальными свойствами (с контролем свойств в Z-направлении, труб-

Рис. 3. **Рессорно-гидравлический механизм качания**

Рис. 4. **Тянуще-обжимная клеть**

ные стали, в том числе Х80, лист для специального судостроения, для морских буровых платформ и другого ответственного назначения). Благодаря улучшению качества поверхности в несколько раз снизилась отсортировка и зачистка толстого листа по дефектам поверхности.

Требуется особо подчеркнуть успешность реализации мягкого обжатия сляба. Решение этой задачи зависит не только от оборудования, которое в данном случае служит инструментом, но и от алгоритма обжатия, что требует глубоких знаний процесса кристаллизации и проведения сложных расчетов. Отсутствием такой работы объясняется существующее положение дел, при котором установки, закупленные без алгоритмов системы мягкого обжатия слябов, не реализуют свой потенциал.

Другой пример – реконструкция нескольких УНРС для разливки слябов, блюмовой и ковочной заготовки на машиностроительном заводе ООО «МЗ Камасталь» г. Пермь, где на УНРС были внедрены современные системы кристаллизаторов и вторичного охлаждения.

Значительную роль в получении качественной непрерывнолитой заготовки играет совершенствование системы вторичного охлаждения. ЗАО «КОРАД» специализируется на разработках таких систем. Данная работа включает в себя исследование качества металла, влияния на дефекты металла вторичного охлаждения, расчет кристаллизации металла, теплотехнические расчеты, разработку конструкции форсунок, смесительных узлов и коллекторов, их стендовые гидравлические и теплотехнические испытания, разработку режимов вторичного охлаждения. Затем следуют рабочее проектирование, включая разработку водоразборного узла и алгоритмов управления, изготовление и поставка оборудования под ключ, пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию.

В качестве примера можно привести реконструкцию системы вторичного охлаждения слябовой УНРС электросталеплавильного цеха ОАО «Уральская Сталь» г. Новотроицк. Закупленная за рубежом УНРС имела жесткое водяное вторичное охлаждение. Из-за неравномерного охлаждения сляба по периметру и переохлаждения поверхности сляба на этой установке не было возможности разливать трещиночувствительные трубные стали и стали для судостроения. Была проведена реконструкция с переводом вторичного охлаждения с водяного на водовоздушное, при этом разработана схема охлаждения, создана новая конструкция коллекторов, смесительных узлов и форсунок (рис. 5), разработаны режимы вторичного охлаждения и алгоритмы управления системой. Алгоритмы управления зонами вторичного охлаждения работают в динамическом режиме, т.е. отслеживают переходные слябы, разлитые при изменении скорости разливки. Управление охлаждением таких слябов реализуется по специальному режиму, учитывающему предысторию такого сляба. Было изготовлено, поставлено и запущено в эксплуатацию оборудование водоразборного узла, коллектора, форсунки, оборудование системы управления с удобным интерфейсом. В результате появилась возможность разливать слябы трещиночувствительных и перитектических марок стали толщиной 270 мм и 190 мм с высоким качеством поверхности и макроструктуры.

Еще одним примером успешной работы служит реконструкция УНРС ОАО «Мотовилихинские заводы» г. Пермь. Специфика УНРС, установленных на машиностроительном производстве, – малые скорости разливки. Например, при разливке заготовки для поковок размером 450×540 мм скорость не превышала 0,15 м/мин, что не позволяло выдерживать оптимальную температуру поверхности и получать качественную поверхность заготовки. В процессе реконструкции проведена замена водяной системы вторичного охлаждения на водовоздушную с современным оборудованием водоразборного узла и автоматической системой управления (конструкция фирмы «АСК» г. Екатеринбург). Были также установлены новые кристаллизаторы и система подачи воды усовершенствованной конструкции, машины газовой резки отечественной конструкции (ОАО СКТБ «Автогентехмаш» г. Москва) и другое оборудование. Реконструкция позволила вывести УНРС на современный уровень, расширить сортамент и повысить качество продукции.

Рис. 5. **Коллекторы, смесительные узлы и форсунки**

Фирма имеет опробованные технические решения для слябового кристаллизатора: узкие стенки параболической формы и специальные угловые фаски (рис. 6). Технические решения обеспечивают повышение равномерности теплоотвода от формируемой корочки слитка, снижение напряжений и значительное повышение качества поверхности слитка.

Используя разработанные технические решения и накопленный опыт, можно создать конкурентоспособные отечественные установки непрерывной разливки стали. Для практического решения этой задачи может быть создан консорциум с участием российских заводов тяжелого машиностроения, предприятий металлургии, инжиниринговых фирм и научно-исследовательских институтов. Целесообразно создать головные демонстрационные образцы УНРС с использованием доли государственного финансирования с последующим возвратом этих средств за счет продаж серии УНРС. Косвенный эффект от государственного финансирования и создания нового отечественного оборудования и технологий – сохранение отечественного тяжелого машиностроения, создание нового оборудования и технологий в смежных отраслях: приборостроении, производстве систем автоматики, электродвигателей, гидравлических и пневматических систем и т.д.

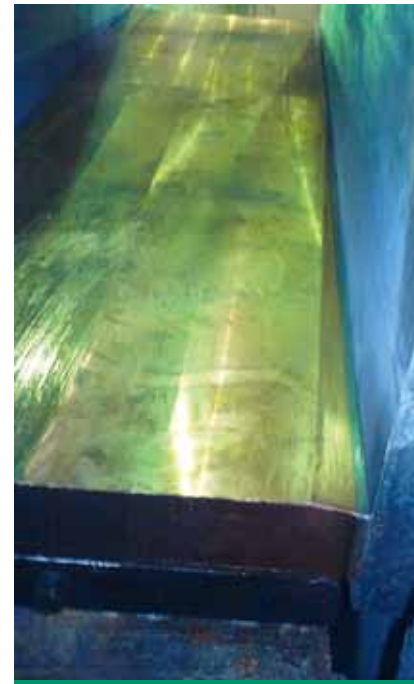


Рис. 6. **Кристаллизатор с боковыми параболическими стенками и фасками**

ПЕЧИ НАГРЕВА OPTIMFLAME®

ТЕКСТ ЛЮДОВИК ФЕРРАНД, ПАТРИК ДЮБУА, ЛЮК МАЛЬПАС, *CMI Thermline Европа*

В ответ на возрастающие запросы рынка, высокую стоимость энергии и более жесткие экологические требования производители ищут оптимальные решения проблем для станов горячей прокатки. С этой точки зрения создание новых нагревательных печей, которые ранее считались вторым по значимости элементом стана, становится приоритетной задачей.

CMI Thermline, термическое направление CMI Group, недавно сдало в эксплуатацию печи нового поколения для нагрева стальных заготовок на заводе Duferco Clabecq и сталепрокатном заводе Maghreb с использованием технологии OptimFlame®. Эта технология сочетается с использованием беспламенных горелок и предлагает идеальные решения в ответ на требования рынка, обеспечивая минимальное воздействие на окружающую среду, низкое потребление энергии, низкие операционные расходы, а также высокую маневренность. Основные особенности процесса включают взаимодействие активной секции с камерой выгрузки, передовые технологии импульсного нагрева OnOffSoft и системы оптимизации R-TOP®. Высокая производительность технологии OptimFlame® была подтверждена в ходе приемосдаточных испытаний и эксплуатации печей.

ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИИ И РОЛЬ НАГРЕВА СТАЛИ

Металлургические предприятия должны постоянно приспосабливаться к изменяющимся рыночным условиям. И сегодня, после периода резкого расширения масштабов производства с высокими ценами на сталь, эти условия стали менее благоприятными:

– возросла конкуренция на всех рынках;

– выросли общие расходы на эксплуатацию заводов, построенных в 1960–70-х годах;

– увеличилась стоимость энергии;

– усложнилось получение финансирования на техническое обслуживание и замену оборудования;

– ужесточились нормы охраны окружающей среды в части выбросов загрязняющих веществ.

Нагревательные печи, имеющие высокую стоимость эксплуатации, с одной стороны, и оказывающие в итоге значительное влияние на качество конечной продукции, с другой стороны, играют большую роль в этом уравнении. В результате основное внимание при проектировании новых печей для нагрева заготовок уделяется оптимизации их параметров.

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OPTIMFLAME®

Поставив более 200 печей для нагрева заготовок и хорошо понимая проблемы, с которыми сталкиваются пользователи (качество, уровень потребления энергоносителей, требования к обслуживанию, потери на окалину, уменьшение загрязнений), компания CMI Thermline разработала свои оригинальные решения.

Отличительными особенностями технологии OptimFlame® являются:

– специальный алгоритм OnOffSoft системы розжига горелок;

– конфигурация горелок (беспламенные и/или регенеративные горелки);

– медленное движение клапанов;

– контроль макрозон;

– физическая модель второго уровня R-TOP™;

– камера выгрузки;

– система удаления окалины.

АЛГОРИТМ ONOFFSOFT УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ГОРЕЛОК

Система импульсного горения теперь является стандартным решением для нагревательных печей, поскольку дает существенные преимущества по сравнению с системой пропорционального управления горением. Однако и при ее использовании сохраняются определенные недостатки, в частности колебания давления и соотношения топливо–воздух, пониженный ресурс клапанов.

Алгоритм OnOffSoft специально разработан на основе опробованных и хорошо зарекомендовавших себя методов оптимизации для решения этих проблем. Результаты промышленной эксплуатации свидетельствуют о его положительном влиянии на технико-экономические показатели, в частности на стабилизацию давления.

КОНФИГУРАЦИЯ ГОРЕЛОК

Форма печи и конфигурация горелок являются ключевыми элементами, от которых зависит равномерность поля температуры и гибкость.

Используя богатый практический опыт и средства компьютерного моделирования, CMI Thermline предлагает оптимальную компоновку для обеспечения равномерности поля температуры и технологической гибкости в конкретных областях и условиях применения. По аналогии горелки распределяются по активной секции для улучшения теплопередачи и оптимизации двухпозиционного регулирования работы горелок.

Беспламенное сжигание в настоящее время является наилучшей технологией с точки зрения равномерности нагрева и снижения уровня выбросов окислов азота. Именно эта технология применяется в стандартных печах производства CMI Thermline.

CMI Thermline также внедряет, по мере возможности, технологию регенеративных горелок для увеличения мощности существующих печей и обеспечения возможности применения низкокалорийных газов с низкой теплотой сгорания, например колошникового.

МЕДЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ КЛАПАНОВ

Клапаны являются одним из основных компонентов печи и одновременно относятся к элементам, подвергающимся наибольшим механическим нагрузкам. CMI Thermline разработала оригинальные меры, специально направленные на уменьшение этих проблем. OnOffSoft позволяет свести движения этих клапанов к минимуму. Более того, CMI Thermline, работая в тесном сотрудничестве с поставщиками клапанов, аттестованных компанией, предложила метод управления, который позволил увеличить срок службы запорных клапанов.

КОНТРОЛЬ МАКРОЗОН

Для контроля подачи топлива трубопроводы разделены на макрозоны. Распределение средств контроля и автоматизации позволяет системе регулирования:

– учитывать и исправлять возможное засорение трубопроводов и горелок;

– исключить недопустимое увеличение расхода топлива путем оптимальной настройки соотношения топливо–воздух;

– уменьшить поступление кислорода в печь для снижения потерь на окалину;

– обеспечить работу горелок в оптимальном режиме, приводящем к уменьшению образования окислов азота и полному исключению образования угарного газа.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВТОРОГО УРОВНЯ R-TOP®

Математическая модель R-TOP® в полной мере реализует преимущества концепции OptimFlame® и позволяет:

– учесть требования к нагреву, предъявляемые металлургическими заводами;

– обеспечить воспроизводимость режимов нагрева;

– увеличить годовую производительность печи;

– уменьшить годовое потребление топлива;

– уменьшить годовые потери на окалину.

Помимо основных функциональных возможностей система второго уровня обеспечивает:

– отслеживание местоположения заготовок;

– контроль теплового состояния заготовок;

– расчет оптимальных графиков;

– расчет оптимальных уставок для всех алгоритмов защиты.

Модель R-TOP® также реализует несколько инновационных методов регулирования и контроля, значительно упрощающих работу операторов и позволяющих им оптимизировать производственный процесс.

R-TOP® предусматривает прогнозирующий/корректирующий расчет времени пребывания заготовок в печи. Длительности выдержки при каждой температуре учитываются в режиме реального времени для точного расчета остающегося времени нагрева.

R-TOP® учитывает все последние алгоритмы решения в режиме реального времени для расчета температурной карты по двум сечениям слябов и обновление этой карты при каждой вводной в работе.

R-TOP® включает в себя полную физическую модель, которая может прогнозировать оптимальный тепловой режим, в том числе:

– прогнозирующий/корректирующий метод для учета требований по каждому конкретному изделию;

– учет всех возможных ограничений (металлургических требований, по обезуглероживанию и т.п.).

Оригинальная система контроля предусматривает:

– расчет теплового баланса по данным предыдущих модулей;

– определение требований к теплоподводу на каждую зону процесса;

– блокировку (By-pass) регуляторов температуры первого уровня;

– прогнозирующий/корректирующий подход для исключения отклонений;

– максимальное быстродействие, минимальное потребление энергии.

КАМЕРА ВЫГРУЗКИ ЗАГОТОВОК

Схема печи

Специальная конструкция последней секции:

– физическое разделение с активной секцией;

– сводовые горелки и горелки на боковых стенах;

– пропорциональное регулирование.

Оптимальная конфигурация с точки зрения подсоса воздуха:

–– пропорциональное регулирование для исключения пульсаций давления у люка печи;

– нижние боковые горелки не подсасывают воздух, как это имеет место во фронтальных горелках.

Отсутствие мест накопления окалины на поде:

– накопление возможно в крайне малых количествах;

– эффект тяги способствует поступлению большого количества воздуха в печь;

– в горелке последнего ряда производится достехиометрическое горение для сжигания оставшегося воздуха.

Оптимальная униформизуемая конфигурация:

– сводовые горелки обеспечивают оптимальный нагрев при низкой тепловой нагрузке;

– нижняя боковая горелка компенсирует потери тепла в глиссажных трубах, обеспечивая достаточно большой теплоподвод.

Оптимальная конфигурация управления:

– при остановках движения заготовки остаются нагретыми в камере выгрузки, пока активная секция находится в режиме ожидания (900° С);

– при возобновлении работы все заготовки будут иметь требуемое тепловое состояние.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ OPTIMFLAME®

Технология OptimFlame® предлагает конкретные пути для повышения эффективности работы конечных пользователей.

То, что получает пользователь, проще всего показать в тоннах и евро.

Алгоритм OnOffSoft + модель R-TOP® улучшают маневренность в работе:

– потребление энергоносителей сокращается на 5–10 %;

– экономия затрат составляет от 1,2 млн до 2,4 млн евро в год.

Равномерность нагрева продукции:

– пониженная средняя температура выгрузки заготовок;

– снижение на 10° С средней температуры выгрузки заготовок эквивалентно экономии расходов на энергоносители в сумме примерно 100 тыс. евро в год.

Уменьшение потерь на окалину:

– уменьшение образования окалины на 0,05 % увеличивает производство проката на 2 тыс. т в год.

Использование камеры выгрузки заготовок улучшает управление остановками/пусками прокатного стана:

– возможность увеличения производительности прокатного стана на 0,5 – 0,7 %. ИР

Передовые методы проектирования печей С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ

ТЕКСТ АЛЕССАНДРО ДЕЛЛА РОККА, МАССИМИЛИАНО ФАНТУЦЦИ, *Tenova LOI Italimpianti, Италия*
ВАЛЕРИО БАТТАЛЬЯ, ЭНРИКО МАЛЬФА, *Centro Sviluppo Materiali S.p.A., Италия*

Методика ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (в дальнейшем аббревиатура CFD), разработанная исследовательским центром Centro Sviluppo Materiali в рамках проекта FlexyTech® Tenova для моделирования отдельных горелок, была усовершенствована в целях ее применения к нагревательным печам в целом. При создании комплексной модели печи рассматривались следующие основные проблемы:

• определение области вычислений. Учитывая, что большинство ячеек, используемых для дискретизации области вычислений (50 %), сконцентрировано на районе горелок, был определен порядок для упрощения представления горелок: моделирование каждого типа горелок, используемых в печи, выполнялось отдельно, полученные профили переменных на выходе горелки были применены в качестве пограничных условий для комплексной модели печи.

• моделирование садки стальных заготовок. Для нагрева садки (заготовок, блюмов, труб) требуется прежде всего вычисление с учетом меняющихся условий, поскольку садка перемещается внутри печи и на выполнение вычислений, соответственно, требуется очень много времени. Модель, которую применяет исследовательский центр CSM, предусматривает итеративное (пошаговая последовательность организации обработки данных) стационарное моделирование гидродинамических процессов внутри печи и периодическое моделирование садки во время ее прохождения через печь. Модель садки, разработанная в программе Ansys FLUENT© UDF, может использоваться для стальных заготовок любых геометрических размеров и для любых систем их перемещения в печи.

В работе описано применение модели для моделирования большой печи с вращающимся подом, служащей для нагрева блюмов и оснащенной боковыми регенерационными горелками и сводовыми горелками.

Предлагаемая методика позволяет ограничить время работы центрального процессорного устройства (ЦПУ) несколькими днями при условии использования четырех штук 4-ядерных процессоров Intel XEON, обеспечивающих соответствие работ циклу проектирования промышленной нагревательной печи.

ВВЕДЕНИЕ

В сегодняшних условиях в мировой черной металлургии выполнение производственного плана не может рассматриваться как единственно важная рабочая характеристика нагревательной печи. Экологические проблемы и рост цен на ископаемые виды топлива требуют от отрасли минимизации загрязняющих выбросов и максимизации эффективности нагревательного процесса. Кроме того, ввиду постоянного усиления конкуренции на мировом рынке стали качество продукции становится ключевым стратегическим вопросом, и решение этого вопроса в нагревательных печах заключается в том, чтобы добиться максимальной равномерности нагрева садки (слябов, блюмов, заготовок, труб, тонких слябов и штрипсов). Немаловажно, что для сохранения конкурентоспособности все эти задачи должны решаться без превышения приемлемых лимитов капитальных затрат и эксплуатационных издержек. Соответственно, успешный проект создания нагревательной печи должен учитывать все перечисленные задачи, что позволит минимизировать энергопотребление и ограничить, насколько это возможно, вредные выбросы.

Такой сценарий ставит многочисленные вопросы перед проектировщиками нагревательной печи, и ценные ответы на многие из этих вопросов можно получить, если интегрировать передовые методы проектирования и верификации (проверка правильности) параметров в общий процесс инженерной работы. В предыдущие годы предпринимались различные попытки оценить параметры процесса нагрева внутри печи с разной степенью детализации и точности. Хорошо известно, что излучение является основным механизмом теплопередачи в процессе нагрева садки, поэтому широко используются упрощенные модели для анализа рабочих характеристик и оценки КПД нагревательных печей. Часто применяемые зональные методы, включающие для предварительной оценки температуры садки как одномерные или двухмерные модели, так и трехмерные модели, позволяют учитывать влияние процесса на состояние кромок и глиссажных меток. Тем не менее такие модели не дают информацию о местных процессах горения, которые происходят в пространстве печи; также отсутствует возможность установить ожидаемый уровень выбросов. Существующие методы измерений, к сожалению, не могут обеспечить непрерывное измерение температуры внутри печи при выполнении эксперимента. Подвижные термопары или регистраторы данных можно использовать только во время испытаний для получения параметров процесса нагрева в нескольких точках измерения в садке, в то время как оптические пирометры и тепловизоры выдают информацию только по

состоянию поверхности садки, и на их работу во многом влияет наличие слоя оксида (окалины) на поверхности металла. Поэтому в последние годы благодаря постоянному расширению возможностей вычислительной техники продолжается работа по двум направлениям:

- трехмерные инструменты оперативного управления на базе существующей зональной модели, расширенной для моделирования нестационарного радиационного теплообмена;
- трехмерное ***вычислительное гидродинамическое моделирование (CFD)*** всей печи, сочетающее модели горения с реагирующим потоком, разработанные для одиночной горелки, модели радиационного и сопряженного теплообмена для процесса нагрева садки.

В настоящей статье основное внимание уделено определению методики ***вычислительного гидродинамического моделирования***, способной смоделировать большую нагревательную печь с вращающимся подом на трубном стане завода TenarisDalmine и таким образом оценить диапазоны гидродинамических параметров, количество тепловой и химической энергии внутри печи, а также подробно представить процесс нагрева для обработанной садки. Рассматриваемая в статье печь с вращающимся подом оснащена беспламенными регенерационными горелками TRGX и беспламенными сводовыми горелками TRX, которые должны минимизировать объем загрязняющих выбросов и обеспечить максимальный КПД печи за счет интенсивного подогрева воздуха.

Установленная методика интегрируется с практикой вычислительной гидродинамики, которую компания Tenova в настоящее время применяет для проектирования, верификации параметров и непрерывного усовершенствования систем сгорания. При успешном сочетании разных уровней анализа создается комплексная многомасштабная методика проектирования печи, что при ее использовании подтверждается отличными результатами на промышленных установках и предприятиях.

1. МЕТОДИКА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ВЕРИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРЕЛОК

Физико-математическая модель, используемая сегодня компанией Tenova для проектирования горелок, верификации их параметров и непрерывного усовершенствования их работы, многократно подтверждала свою эффективность по отношению к экспериментальным данным с испытательных стендов исследовательского центра CSM. Полная база данных по моделированию всех горелок Tenova FlexyTech® различных размеров в разных динамических диапазонах непрерывно пополняется новыми данными по мере выполнения работ компаниями CSM и Tenova в рамках совместных исследовательских проектов. Эта база данных содержит фактические фундаментальные знания, необходимые для успешного применения различных технологий горения, например беспламенного и регенерационного горения.

В частности, регенерационные горелки сложнее использовать на печи с вращающимся подом и на всех нагревательных печах с узким полезным пространством. Чтобы обеспечить стандартное ведение цикла между фазами регенерации и розжига для каждого горелочного узла, необходимо устанавливать горелки двойного размера. Как следствие увеличивается ожидаемая длина факела и возникают серьезные вопросы в отношении возможного поглощения противоположной горелкой смеси, частично вступившей в реакцию, что неблагоприятно отразится как на КПД процесса сгорания, так и на затратах на ремонты регенерационного основания. Такие последствия вызывают особую озабоченность при работе на печах с относительно узким полезным пространством, например на печах с вращающимся подом. Для оценки данного эффекта и разработки беспламенных регенерационных горелок FlexyTech®, способных решить эти вопросы, компания Tenova начала проект **CFД**. Результаты этого исследования и данные по другим горелкам, устанавливаемым на печи с вращающимся подом, представлены кратко, поскольку они лежат в основе всей методики, применяемой для моделирования работы всей печи.

Проектирование беспламенной регенерационной горелки TRGX в исполнении с коротким факелом

Горелка TRGX была создана в 2006 г., когда компания Tenova решила соединить беспламенную технологию с процессом регенерационного горения, чтобы получить горелку, которая бы гарантировала снижение объемов загрязняющих выбросов и энергопотребления. Беспламенные регенерационные горелки TRGX FlexyTech® представляют последнее поколение регенерационных горелок; они могут работать как в режиме факела (для холодного розжига), так и в беспламенном режиме (для достижения наилучших показателей в части выбросов NO_x). Благодаря комбинации подготовки газовоздушной смеси и работе в беспламенном режиме выбросы NO_x сокращаются до уровня в 35–40 промилле (промилле –1/1000 = 0,001).

Таблица 1. **Эталонные рабочие условия для CFД**

Настройка вычислительной гидродинамической модели	
Среда	Идеальный газ
Турбулентность	k-ω коррекцией на касательное напряжение (Wilcox) модель напряжения Рейнольдса
Химические параметры	Конечная интенсивность / Вихревое рассеивание с A = 4 и B = 0.5 Вихревое рассеивание / Скорость реакции по Аррениусу Облегченный кинетический механизм Вестбрука и Драйера
Термофизические свойства	Смесь: Плотность: идеальный газ Удельная теплоемкость, вязкость и теплопроводность: уравнение состояния смеси идеальных газов Коэффициент диффузии массы: кинетическая теория Компоненты: Удельная теплоемкость: скорректирована с учетом диссоциации (Пелдерс) Вязкость и теплопроводность: кинетическая теория
Излучение	Дискретно-ординатная модель Коэффициент поглощения: WSGGM (модель взвешенной суммы серых газов)

На первых этапах разработка горелки TRGX осуществлялась совместно компаниями Tenova и CSM; работа выполнялась по итерационной методике, которая включала в себя проектирование прототипов горелки на основании опыта, полученного при проектировании предыдущих моделей TSX (беспламенной) и TRG (регенерационной), широкое использование методики **CFД** для оптимизации конструкции горелки, испытания на лабораторных печах и затем на промышленных печах. Выбор физических моделей был обусловлен ранее проделанной работой по подтверждению параметров, целью которой была оценка рабочих характеристик в различных условиях турбулентности для моделирования высокоскоростных потоков круглого сечения и схемы процесса горения природного газа.

К сожалению, беспламенное горение достигается благодаря интенсивной циркуляции горячих отходящих газов внутри печи за счет мощных потоков воздуха, выходящих из рассеивателя горелки. Соответственно, длина факела, определяемая как удлинение реакционной зоны в пространстве печи при беспламенном горении, будет намного больше, чем длина факела традиционных регенерационных горелок. Этот эффект дополнительно усиливается ввиду того, что на печи устанавливаются регенерационные горелки размером в два раза больше, чем нужно, чтобы учесть фазы регенерации и розжига, как отмечалось выше. По этим причинам были начаты НИОКР в целях создания беспламенных регенерационных горелок TRGX с коротким факелом.

Основная проблема этого проекта заключалась в том, что было необходимо поддерживать высокий уровень разбавления воздуха при создании реакционной зоны в более компактном объеме, чем на исходной модели беспламенных регенерационных

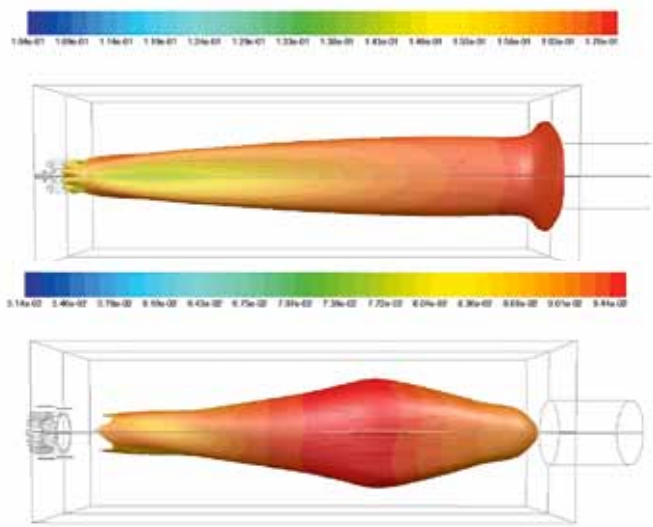


Рис. 1. **Изоповерхность температуры пламени горелки TRGX с выделением молярной доли CO_2**

горелок TRGX с длинным факелом. Было найдено техническое решение, предусматривающее создание определенного вихревого движения потока воздуха для горения, при этом фиксированный периметр струи воздуха в целях его разбавления горячими отходящими газами поддерживается приблизительно на таком же уровне, как и на горелках TRGX с длинным факелом. Кроме того, было удвоено число фурм вдувания топлива для более равномерного распределения топлива вокруг вихревого воздушного потока. Все проектные работы и верификация параметров проводились с использованием методик **CFD**, тщательно составленных в период непрерывного взаимодействия инженеров CSM и отдела НИОКР компании Tenova. Была принята настройка модели для моделирования одиночной горелки, работающей на природном газе (табл. 1). В частности, был выбран двухступенчатый облегченный механизм Вестбрука и Драйера (Westbrook & Dryer), наилучшим образом сочетающий точность и время, которое затрачивает ЦПУ на моделирование процесса горения природного газа.

Полученные характеристики в части ожидаемой длины факела внутри экспериментальной камеры длиной 6 м на испытательном участке исследовательского центра CSM представлены на рис. 1. Здесь показаны изоповерхность температуры пламени с разделением по молярной доле CO_2 [кмоль/кмоль] для традиционной горелки с длинным факелом FlexyTech® TRGX (верхний рисунок) и для горелки с компактным коротким факелом FlexyTech® TRGX (нижний рисунок). Нужно отметить, что зона реакции, выделенная по изоповерхности температуры 1500 °C, четко ограничивается внутри испытательной камеры для модели с коротким факелом по сравнению с традиционной беспламенной регенерационной горелкой TRGX с длинным факелом.

После завершения первой фазы разработки было проведено большое число экспериментальных испытаний в центре CSM в г. Дальмине для проверки профилей тепловой нагрузки на стенки испытательной печи и верификации уровней выбросов.

План разработки был успешно выполнен, и модельный ряд горелок Tenova FlexyTech® TRGX пополнился еще одной моделью с коротким факелом для печей с узким полезным пространством. Горелки с коротким факелом TRGX 16 были успешно установлены в зонах 1 и 2 печи с вращающимся подом на заводе TenarisDalmine, в то время как горелки с длинным факелом TRGX 14 устанавливались в зоне 3 без необходимости увеличения длины факела, несмотря на их меньшую тепловую мощность.

Вычислительный гидродинамический анализ беспламенной сводовой горелки TRX

Зоны 4, 5, 6 и 7 печи с вращающимся подом на заводе TenarisDalmine оснащены беспламенными сводовыми горелками TRX. Разработка данного модельного ряда горелок осуществлялась совместно инженерами компаний CSM и Tenova, что позволило создать обширную базу данных по результатам численного моделирования. Проводилось моделирование разных рабочих диапазонов, объемов избыточного воздуха, температур подогрева воздуха и соотношений топливной смеси почти для всех имеющихся размеров сводовых горелок. Зоны 4, 5, 6 и 7 полностью комплектуются горелками TRX 4.

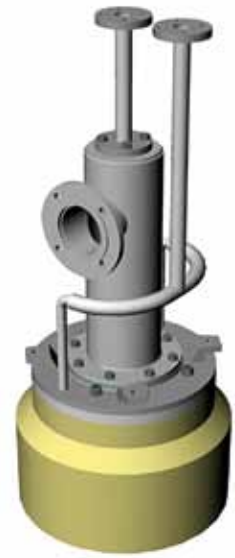


Рис. 2. **Горелка FlexyTech® TRX 4**

2. МНОГОМАСШТАБНЫЙ ПОДХОД ПРИ КОМПЛЕКСНОМ CFD РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Физико-математическая модель, используемая на этапах проектирования одиночных горелок, усовершенствования их работы и верификации их параметров [7, 8], является отправной точкой для расширения применения вычислительных гидродинамических моделей ко всей печи, что позволит проанализировать возможные последствия взаимодействий между горелками.

Основные проблемы в проведении такого анализа по методу вычислительной гидродинамики заключаются в следующем:

- необходимо большое число вычислительных ячеек для дискретизации разных геометрических масштабов (отверстия подачи воздуха и топлива в горелки, габариты печи, размеры садки);
- моделирование движения садки внутри печи.

Чтобы как можно подробнее представить элементы горелок и получить достаточное пространственное разрешение в районе взаимодействия факелов, требуется расчетная матрица с десятками миллионов ячеек. Соответственно, для сокращения времени вычисления инженеры центра CSM разработали процедуру сокращения числа ячеек. Поскольку большинство ячеек (более 50 %) необходимо для представления четких градиентов вокруг горелок, очевидно, что для моделирования всей печи потребуется многомасштабный подход (рис. 3).

Метод, разработанный и действительный для моделирования любой печи, предусматривает извлечение профилей соответствующих переменных на выходе горелки из большой существующей базы данных и применение данных значений в качестве фиксированных пограничных условий для комплексной модели печи. Для облегчения использования данного подхода в случае, когда на печи установлено много горелок, было создано специальное программное обеспечение, которое показывает вращение/перевод профиля в положение, требуемое в соответствии с областью комплексной матрицы печи и интерполяцией между имеющимися профилями для моделирования в базе данных.

Кроме того, для представления процесса нагрева садки требуется вычисление, зависящее от времени и обусловленное движением садки внутри печи, и ,соответственно, на вычисление будет затрачено много времени. Чтобы снять данное ограничение, решение проблемы было найдено в многомасштабном подходе, в том числе с учетом времени (рис. 3), что позволяет соединить вычислительное гидродинамическое итерационное статическое моделирование реагирующего потока внутри печи (гидродинамическая модель печи) с периодическим моделированием ведения процесса нагрева садки во время ее движения внутри печи (твердотельная модель садки). Это возможно благодаря разным типовым временным шкалам двух

Рис. 3. **Многомасштабный подход при комплексном CFД работы нагревательной печи**

процессов: гидродинамическая временная шкала имеет деление в одну десятую секунды, в то время как шкала нагрева твердого тела градуируется в секундах. Поэтому температуру поверхности садки можно принимать за константу во времени в течение гидродинамического вычисления, а полученный тепловой поток на блюмах может рассматриваться как фиксированное пограничное условие во время моделирования движения садки внутри печи. Твердотельная модель возвращает актуализированную температуру поверхности садки в гидродинамическую модель, и этот процесс повторяется до тех пор, пока разность между температурами в двух последовательных повторах не будет меньше значения допуска. Модель садки, разработанная в рамках функции, определенной пользователем (UDF), и макросов Ansys FLUENT©, была представлена в деталях и успешно сравнена с экспериментальными кривыми нагрева и с упрощенной моделью, в которой движение стальных заготовок показано как непрерывное перемещение твердого тела с постоянной скоростью (концепция эквивалентной полосы).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ: ПЕЧЬ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОДОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 200 Т/Ч

Хорошие результаты проверки параметров и ограниченное время работы ЦПУ показывают, что комбинированная **CFД** печи может применяться к моделированию нагревательной печи, когда необходимо выполнить анализ гидродинамики и взаимодействия факелов, получить детальное представление о температуре и тепловых потоках в стенках печи и нагреваемых стальных заготовках. Поэтому модель была использована для анализа модернизированной конфигурации печи с вращающимся подом завода TenarisDalmine. Основными целями новой конструкции были повышение производительности (+35 %) за счет расширения полезного пространства печи для загрузки более крупных блюмов (длиной до 5300 мм) и увеличение теплового КПД (+15 %) за счет установки регенерационной системы сгорания.

Область вычислений для всей печи с вращающимся подом показана на рис. 4, в то время как эталонные рабочие условия, взятые для **CFД**, приведены в табл. 2 и табл. 3. Модернизированная печь оснащена горелками модельного ряда FlexyTech TENOVA: беспламенными регенерационными горелками TRGX16 и 14 в зонах 1 – 3 и сводовыми горелками TRX4 в зонах 4–7.

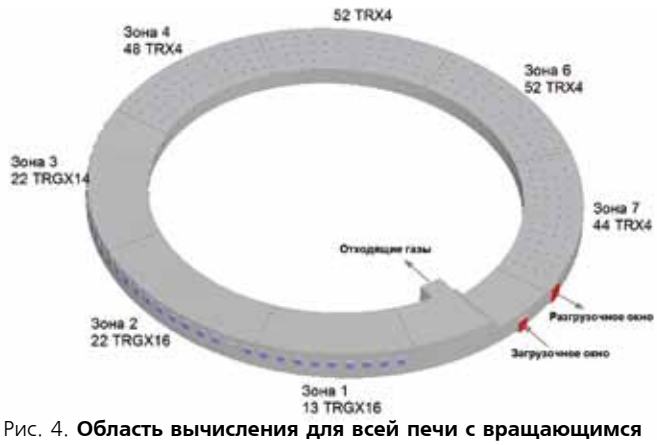


Рис. 4. **Область вычисления для всей печи с вращающимся подом**

Каждая одиночная горелка рассматривалась в следующих рабочих условиях:

Зона	Модель горелки	Тип горелки	Число горелок	Расход топлива, Нм³/ч	Расход топлива, Нм³/ч
1	TRGX16	Регенерационная беспламенная	13	95	1154
2	TRGX16	Регенерационная беспламенная	22	188	2285
3	TRGX14	Регенерационная беспламенная	22	200	2593
4	TRX4	Беспламенная	48	19	225
5	TRX4	Беспламенная	52	14	167
6	TRX4	Беспламенная	52	8	96
7	TRX4	Беспламенная	44	8	101

Зоны 1, 2 и 3 – это регенерационные зоны, и поэтому только половина горелок находится в режиме горения, в то время как остальные работают в режиме регенерации, всасывая горячие отходящие газы из печи для подогрева оснований регенераторов. Для CFД была взята типовая схема нагрева, позволяющая представить распределение тепла внутри печи.

В то время как табл. 2 относится ко всей печи, в табл.3 указаны эталонные рабочие условия по зонам, использованные для **CFД**.

Составляющие скорости, кинетической энергии турбулентности и рассеивания, температуры, профилей концентрации компонентов, полученные в заданной секции (на выходе), были использованы в качестве пограничных условий для представления 253 горелок, установленных по всей печи. Для комплексной вычислительной гидродинамической модели печи были взяты следующие пограничные условия:

1. Стенки печи: комбинированное пограничное условие (излучение и конвекционная теплопередача) для стенки с проводимостью материала и толщиной боковых стенок, свода, пода и туннеля.

2. Горелки: входные значения скорости с профилем составляющих скорости, турбулентность, температура и концентрация компонентов, полученные путем моделирования одиночных горелок

3. Выпуск отходящих газов: давление на выпуске

4. Загрузочное окно: сквозное окно, через которое происходит радиационный теплообмен между тепловым потоком и окружающим воздухом при 25 °C

Таблица 2. **Эталонные рабочие условия для вычислительного гидродинамического моделирования**

Производительность, т/ч	Итого тепловая мощность, кВт	Тепловая мощность топлива, кВт	Тепловая мощность воздуха, кВт	Потребление, Нм³/т
187	93550	67110	26440	36.8

Таблица 3. **Эталонные рабочие условия для каждой зоны**

Зона	Тепловая мощность топлива, кВт	Тепловая мощность воздуха, кВт	Разделение мощности, %	Нагрузка зоны, %
1	6612	3108	10	32
2	20523	9671	32	62
3	15900	7982	25	71
4	8940	2084	12	46
5	7210	1678	9	46
6	4155	965	5	46
7	4176	965	5	22

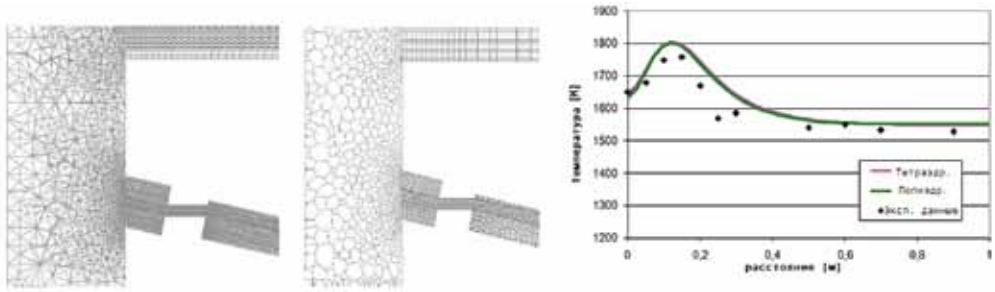


Рис. 5. **Полиэдральное группирование**

5. Отверстия в стенках печи: сквозные окна, через которые происходит радиационный теплообмен между тепловым потоком и окружающим воздухом при 25 °С.

6. Разгрузочное окно: сквозное окно, через которое происходит радиационный теплообмен между тепловым потоком и окружающим воздухом при 25 °С.

Поскольку для представления этой очень большой нагревательной печи, основанного на матричном анализе чувствительности, выполненном для одиночной зоны, и на предыдущем проверочном испытании на печи с шагающим подом, требуется порядка 100 млн вычислительных ячеек, был выбран алгоритм, реализованный в последних версиях программы Ansys FLUENT© и позволяющий сгруппировать тетраэдральные элементы в полиэдральный элемент. Пример полиэдрального преобразования матрицы для зоны, окружающей горелку, взят из работы вместе со сравнением температурных профилей в двух осевых точках (рис. 5). Размер неструктурированной матрицы в случае печи с вращающимся подом уменьшается на 75% до общего числа в 25 млн ячеек.

На рис. 6 воспроизведено общее изменение диапазонов температуры печи и скорости для плоскости на уровне впускных отверстий боковых горелок. Очевидно взаимодействие струй горелок с потоком топочного газа, вызывающее заметный изгиб факелов в зонах 1–3.

Кривая нагрева (рис. 7) подтверждает, что и для модернизированной печи с увеличенной производительностью необходимо сохранять удлиненную зону томления для выравнивания температуры садки и обеспечения целевой равномерности распределения температуры по блюму на выходе как в радиальном (от поверхности к центру ΔT_{max} = 18 °С), так и в продольном направлении (ΔT_{max} = 6° С). Моделирование показывает ΔT_{max} = 433 °С и ΔT_{max} = 23 °С соответственно во время нагрева садки по мере ее продвижения внутри печи.

На рис. 8 представлены трехмерные карты процесса нагрева и поверхностных температур садки печи, при этом на карте температуры поверхности блюмов показаны параметры на выходе каждой печной зоны.

При тщательном анализе теплового потока на блюме (рис. 9) устанавливается, что, как ожидалось, основным фактором является излучение (красная линия), за исключением зоны посада-выдачи, где температура стенки самая низкая (700 °С) и зоны циркуляции образуются за счет наличия печных отражателей и затвора. И наоборот, в зоне 3 радиационный тепловой поток неожиданно оказался нежелательным, поскольку температура поверхности блюма выше температуры стенок. Высокий параметр конвекционного теплового потока показывает, что эта аномалия объясняется, главным образом, набросом факелов горелок в боковых стенках на поверхность заготовки. Это достаточно подробная информация в сравнении с данными, получаемыми из других моделей, как отмечалось в предыдущих разделах.

Используя тепловой баланс печи (рис. 10), можно оценить эффективность печи после модернизации:

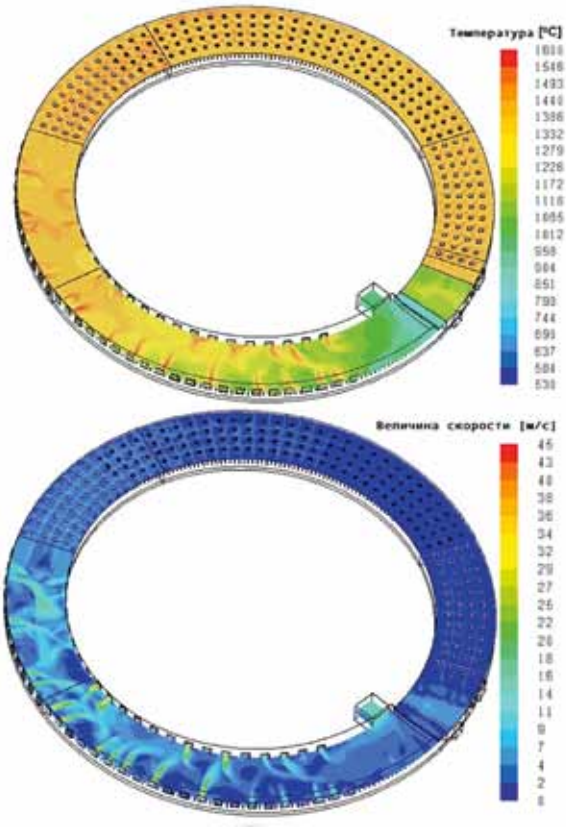


Рис. 6. **Диапазон температуры и диапазон скорости на горизонтальной плоскости на уровне в половину высоты печи**

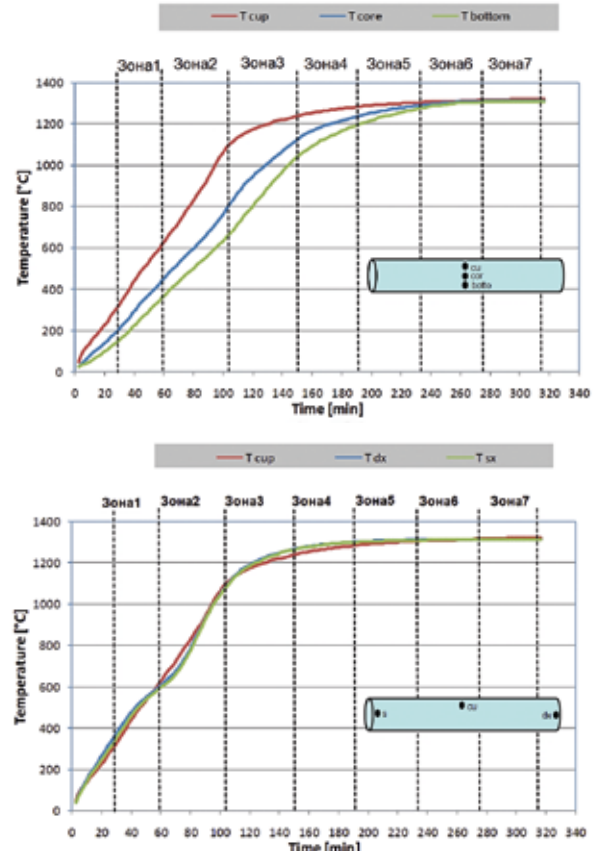


Рис. 7. **Кривые нагрева, рассчитанные методом CFD**

$$\eta = \frac{Q_{CHARGE}}{Q_{FUEL}} = \frac{44900}{67100} = 0.67.$$

Следовательно, повышение температуры воздуха для горения с 450 °С до 890 – 1120 °С на боковых горелках за счет установки регенерационной системы позволяет увеличить КПД с 45 до 67%, а максимальную производительность – со 160 до 215 т/ч. **CFD** также дает возможность оценить различные источники теплопотерь. При этом 8,8% приходится соответственно на тепловые потери от печных стенок (5,4 %) и от водоохлаждаемого затвора (3,4 %). Энергия топочных газов на выходе печи составляет 63,6 %, из этого количества 68 % извлекается регенерационными горелками и утилизируется с высокой эффективностью, в то время как 32 % остается в топочных газах, выходящих из выпускного отверстия печи, и утилизируется центральным рекуператором с меньшим КПД.

На рис. 11 сопоставляются температуры зон, измеренные после модернизации, осуществленной компанией Tenova в августе 2010 г., при этом печь работала в условиях, схожих с теми, которые рассматривались при моделировании. Таблица на рис. 10 показывает, что температура, выбранная для системы управления печи (среднее значение между измеренной температурой на входе и выходе каждой зоны), очень близка к вычисленной средней температуре зон стенок печи.

ВЫВОДЫ

Вычислительная гидродинамическая модель (CFД), созданная для моделирования работы одиночной горелки, была расширена для применения ко всей нагревательной печи, в том числе с учетом перемещения заготовок в печном пространстве. Многомасштабный подход для представления горелок использовался в целях уменьшения вычислительной матрицы без потери точности результатов в комбинации с моделью садки стальных заготовок, которая объединяет статический гидродинамический расчет реагирующего потока внутри печи с периодическим моделированием садки во время ее перемещения внутри печи. Правильность подхода была подтверждена экспериментальным путем во время предыдущего исследования.

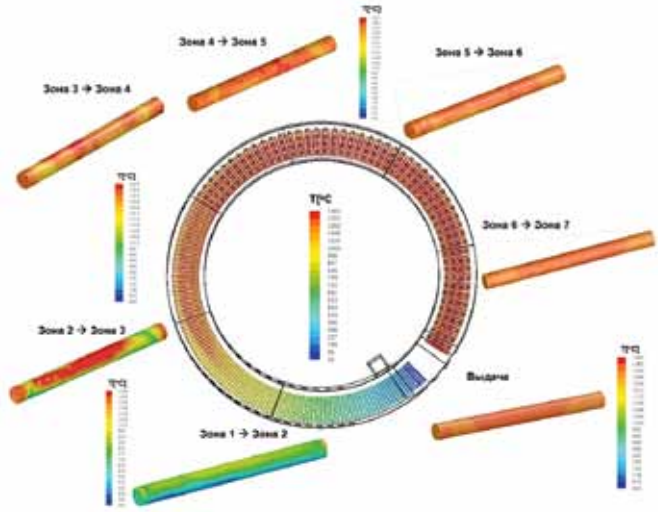


Рис. 8. **Карты поверхностной температуры для садки внутри печи с вращающимся подом согласно вычислительной гидродинамической модели**

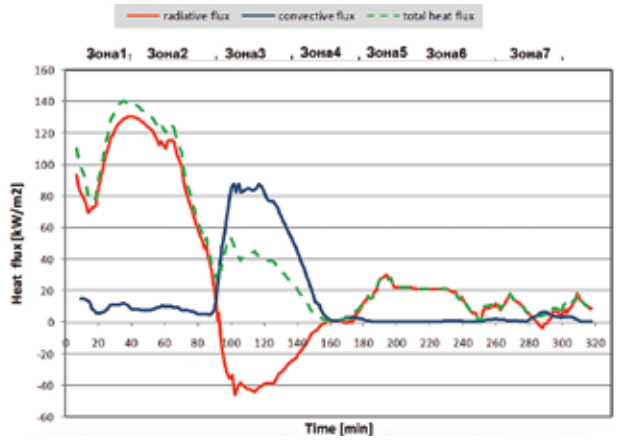


Рис. 9. **Тепловой поток для верхней точки одиночного блюма в процессе нагрева**

Производительность, т/ч	Подводимая мощность, кВт	Средняя температура при выдаче	Мощность на заготовку, кВт	Мощность топочного газа, кВт	Теплопотери печи, кВт	Кпд, η
187	93549 (общ.) 67110 (газ)	1307 °C	44900	42700	5918 (6,3 % Ртаз) (8,2 % Робщ.)	67% (Ртаз) 48% (Робщ.)

Итого теплопотери печи: 5918 кВт
(8,2 % подводимой мощности газа)

Стенка	3670 кВт
Затвор	2280 кВт

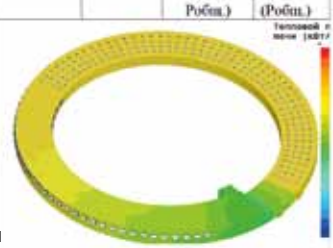


Рис. 10. **Тепловой баланс печи**

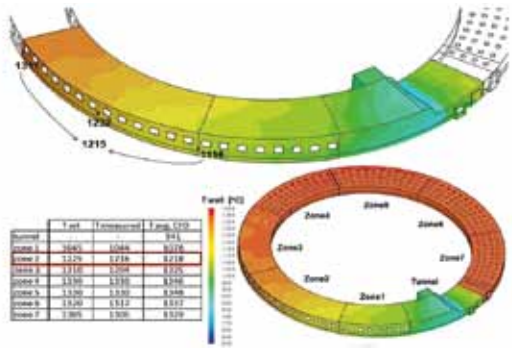


Рис. 11. **Карта температуры стенок печи (по внутренней поверхности огнеупорной футеровки)**

Хорошие результаты работы по подтверждению параметров и оценка времени ((5–12 дней), которое будет затрачивать на это ЦПУ в кластере из 16 процессоров, показали, что комбинированная вычислительная гидродинамическая модель печи совместима с рабочим циклом проектирования промышленной печи.

Применение разработанной методики **CFД** в рамках проектирования модернизации промышленной нагревательной печи и сопоставление параметров с данными промышленной эксплуатации свидетельствуют о потенциале описанного инструмента в случаях, когда для проектирования печи необходимо выполнить анализ гидродинамики и взаимодействия факелов, представить в деталях потери тепла на печных стенках, температуру стальных заготовок и тепловые потоки. Кроме того, наличие данных о поверхностной температуре заготовок, тепловых потоках и местной концентрации продуктов горения потенциально допускает использование методики мультифизического моделирования. Вычислительная гидродинамика может комбинироваться с инструментом структурного анализа, чтобы оценить деформацию заготовок из-за перепада температур или образование окалины для оценки выхода годного. Это основные направления будущих совместных исследований компаний Tenova и CSM.

Сокращение времени работы ЦПУ благодаря текущему многомасштабному подходу позволяет предвидеть дальнейшее развитие событий, в частности использование для горения в нагревательных печах альтернативных видов газообразного топлива (коксового, доменного и генераторного газов) или воздуха, обогащенного кислородом, что дает возможность оценить на этапе проектирования все необходимые детали технологии горения, внедряемой на печи.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Мы хотели бы поблагодарить компанию TenarisDalmine [А.Капрера (A.Caprera) и М.Галльяно (M.Galliano)] за предоставление справочных данных по печи с вращающимся подом завода TenarisDalmine.

ЛЮДИ ИЗ БУДУЩЕГО РЯДОМ С НАМИ

ТЕКСТ АЛЕКСАНДР КАРПОВ, *председатель Центрального Совета Всероссийской научно-социальной программы для молодежи и школьников «Шаг в будущее», канд. физ.-мат. наук*

Программа «Шаг в будущее» сегодня является общенациональным движением, объединившим ученых и учителей, преподавателей и специалистов, родителей и политиков в деле воспитания молодых людей, нацеленных на создание научных новшеств, современной техники и высоких технологий. Эта программа действует как междисциплинарная и трансдисциплинарная исследовательская площадка, в среде которой сконцентрирован огромный фонд знаний, талантов и энергии, способный стать стратегическим ресурсом нашего общества.

В 1991 г., когда большинство жителей страны заботили лишь проблемы выживания и пропитания, небольшая группа энтузиастов задумалась о той роли, которую будут играть «дети реформ» в предстоящем движении российского общества к благосостоянию и правильным формам социальной жизни. Так родилась идея проекта «Шаг в будущее» – новой, социально и культурно открытой образовательной системы исследовательского типа. Парадоксально, но в обстановке экономического спада и всеобщего обеднения деятельность, основанная на альтруистических и идеологически неангажированных началах, оказалась результативной. Гуманистические призывы участников команды, их аргументы были услышаны как в стране, так и за ее пределами. Появившиеся ресурсы помогли поставить образовательное дело на качественно новый уровень.

Была реализована педагогическая концепция обучения через науку, создавшая социальные лифты для детей из неимущих сословий и «медвежьих углов». Они получили научных наставников и возможность образования в лучших российских университетах. Более того, для этих детей пал «железный занавес», открыв перспективу общения со сверстниками из-за рубежа в рамках международных научно-образовательных мероприятий в России и в других странах.

Прошло десятилетие. Российские государственные деятели начали говорить об обществе знаний и инновационной экономике. А тем временем программа «Шаг в будущее» уже воспитывала для страны когорту инновационно мыслящих молодых людей. Если на первый политехнический коллоквиум собралось только 72 ученика, то сегодня в программе участвуют более 150 тысяч школьников и студентов, в том числе около 10 тысяч из удаленных городов и поселков. Команда программы «Шаг в будущее» реализовала эффективную территориально-распределенную структуру исследовательского обучения, где основным звеном является координационный центр. Инициатива создания такого центра впервые была выдвинута в 1994 г. в таежном городе Усолье-Сибирское. Через шесть лет этот центр уже объединял энтузиастов по всей Сибири. С ним сотрудничает Сибирское отделение Российской академии наук, здесь проходят главные научные молодежные форумы огромного региона.

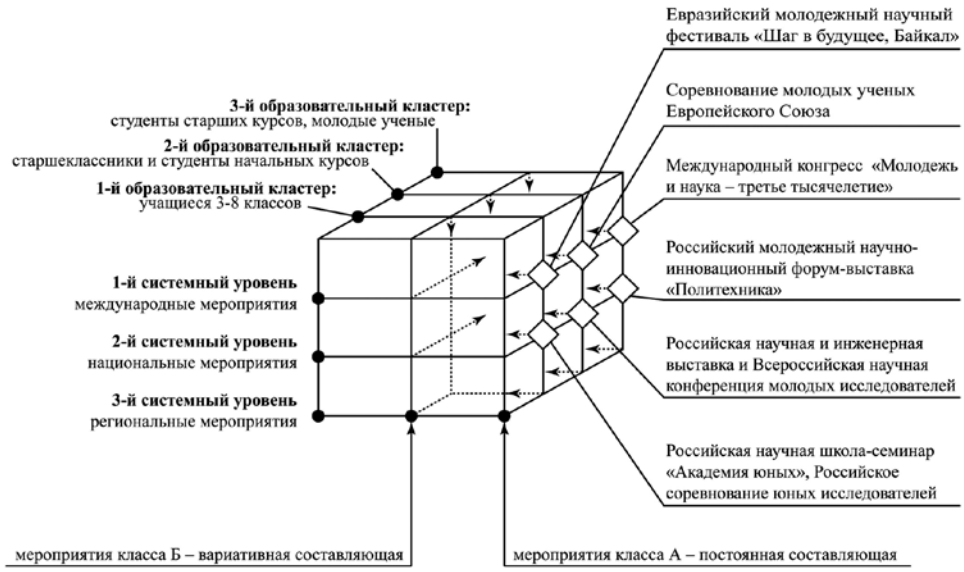
К 2005 г. образовательная сеть исследовательского типа охватила всю территорию страны. Ее координационные центры объединяют более восьми тысяч школ, где работают молодежные научные лаборатории и конструкторские бюро, школьные лесничества и агроплощадки, молодежные научные общества и студенческие инновационные предприятия. Здесь осуществляется «диагностика» творческих способностей детей и обеспечивается психологическое сопровождение юных талантов. По такой модели сегодня работают около ста координационных центров. Кроме того, более 300 ассоциированных участников программы образуют разнообразные общественно-государственные конфигурации. С 1995 г. действует Российское молодежное политехническое общество (РМПО), которое сегодня имеет 24 региональные организации, объединяющие более 90 тысяч студентов и школьников.

В 1997 г. участники команды пригласили Государственный фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере к финансированию конкурса «Молодежь. Наука. Бизнес» – первой крупной акции по развитию инновационного движения молодежи в России. Результатом стали не только научно-технические разработки, дошедшие до потребителя, но и новые механизмы продвижения научных и инженерных идей молодых исследователей. Годом позже была сформирована национальная сеть молодежных научных и инженерных выставок – первые из них с успехом прошли в Москве, Липецке, Мурманске, Нальчике, Челябинске, Усолье-Сибирском.

Программный метод организации научной работы с талантливой молодежью очень быстро показал свою эффективность. Он позволял определять цели, создавать целевое ресурсное обеспечение, контролировать получение результата и осуществлять необходимые корректировки. Этот метод, по сути дела, предопределил развитие интегрированных образовательных систем, а сама программа «Шаг в будущее» послужила моделью для организаторов научно-исследовательской деятельности молодежи в масштабах страны. В первую очередь программные методы стали культивировать учебные и научные организации, сотрудничающие с программой. В МГТУ им. Н.Э. Баумана создается программа «Космонавтика». В конце 90-х годов на программные методы организации научной работы переходят организаторы Всероссийской научной конференции для школьников в Обнинске и появляется программа «Юность, наука, культура».

Эти же методы стали активно использовать организаторы программ «Чтения им. В.И. Вернадского» («Лицей на Донской», Москва), «Юниор» (МИФИ), «Старт в науку» (МФТИ).

Если раньше научное творчество российских школьников ограничивалось моделями технических устройств, которые давали лишь представление об их внешнем виде, то теперь в российскую школу внедрялся «ис-



Фрагмент матричной структуры комплекса научно-образовательных мероприятий программы «Шаг в будущее»

следовательский» тип научного познания. Оценивание становилось генеративным, т.е. учитывающим то, что учащийся выработал сам, а программы обучения – исследовательскими и трансформативными, иначе говоря, способными к преобразованию знания в поисковом ключе. Творческая деятельность учащихся получила приложение в научных институтах и в исследовательских лабораториях университетов. Были созданы локальные творческие пространства, которые позволили исследовать мир «взрослыми» методами. И сегодня в России патент у школьника – не столь уж редкое событие.

Статистика, собранная в начале 2000-х годов, показала, что в системе программы «Шаг в будущее» действуют 37 конструкторских бюро и лабораторий, 283 научно-исследовательские группы, 576 научных и профессиональных молодежных обществ, 1113 научно-познавательных кружков и факультативов. В 2000 г. был создан семинар для учителей «Наука в школе», который работает и поныне. За это время состоялось 24 сессионных собрания семинара. В 2004 г. с участием журналов «Вопросы философии» и «Педагогика» начал работать постоянно действующий методологический семинар «Философия – образование – общество».

В 2003 г. идеи и разработки команды программы «Шаг в будущее» получили грант Всемирного банка (МБРР). Благодаря этой поддержке появился генеральный план действий по проблеме «молодежь и наука» на ближайшую перспективу. Разработка получила высокую оценку Российской академии наук, Российской академии образования, научно-педагогического сообщества страны; ее содержание было использовано при создании Федеральной целевой программы «Кадры».

К началу 2000-х годов сложился дифференцированный комплекс научно-образовательных мероприятий программы «Шаг в будущее». Он может быть представлен как матрица из трех системных уровней, трех образовательных кластеров и двух классов (фрагмент представлен на рисунке).

Системные уровни образуют пирамиду статусного ранжирования мероприятий (выставок, конференций, семинаров, научных школ и т.п.) и формируют мотивацию на углубление исследований. Первый системный уровень – мероприятия международного масштаба двух разновидностей: организуемые внутри страны и проводимые за рубежом. Второй системный уровень – мероприятия национального масштаба. Третий – региональные мероприятия, организуемые координационными центрами программы. Образовательные кластеры создают непрерывную систему возрастной мотивации у молодежи при занятиях наукой. Первый возрастной кластер – учащиеся 3 - 8 классов (случается, исследовательские проекты демонстрируют школьники 1 класса), второй – старшеклассники и студенты начальных курсов, третий – старшекурсники, молодые ученые и специалисты. Система классности мероприятий подразделяет их на следующие категории: мероприятия класса А являются постоянно-действующими, прошедшими сертификацию в Центральном совете программы; мероприятия класса Б проходят ежегодную сертификацию в качестве официальных мероприятий программы.

В 2010 г. команда программы «Шаг в будущее» дала старт новому крупномасштабному проекту исследовательского обучения. Он получил название «Научные кадры будущего» и был поддержан ректором Бауманского университета, профессором А.А. Александровым. В течение года на всей территории России проводился отбор подростков в возрасте 11–15 лет для специализированной подготовки по таким научно-техническим специализациям, как наземный и космический транспорт, биомедицинская инженерия, нанотехнологии, энергетические системы будущего и т.д. По окончании трехлетнего срока обучения участников группы «Научные кадры будущего» ждет исследовательская деятельность в составе профессиональных коллективов ученых и создателей новой техники.

Благодаря международной сети научно-образовательных связей, охватывающей 46 стран, школьники и студенты получили возможность участвовать в молодежных научных соревнованиях, организуемых на трех континентах. С 1998 г. лауреат программы ежегодно представляет молодых российских ученых на церемонии вручения нобелевских премий. Программа «Шаг в будущее» формирует и направляет делегации молодых исследователей России на соревнования молодых ученых Европейского Союза (с 1997 г.), Лондонский международный молодежный научный форум (с 1996 г.), Международную и европейскую научную выставку «ЭКСПО-НАУКА» (с 1996 г.), Международную научную и инженерную выставку Intel ISEF (США, с 1996 г.). Лауреаты программы «Шаг в будущее» неоднократно занимали на международном уровне призовые места, награждались в том числе стажировками в ведущих научных центрах за рубежом.

В 2005 г. соревнование молодых ученых Европейского союза впервые прошло в стране, не входящей в ЕС, и этой страной стала Россия. Для участия в этом молодежном научном форуме прибыли официальные делегации из 35 стран Европы, а также из США, Японии, Китая и Южной Кореи. Комиссия ЕС особо отметила вклад в развитие молодежного научного движения программы «Шаг в будущее», что и стало решающим фактором в выборе места для мероприятия, за право проведения которого наряду с Россией боролся целый ряд европейских стран.

Сегодня программа «Шаг в будущее», как и во время своего основания, остается общественным и неправительственным движением энтузиастов – ученых, учителей и преподавателей, реализующих на практике идею «общественного образования», воспитывающих молодых людей, которые уже сегодня создают инновационное будущее своей страны.

Подробную информацию о программе «Шаг в будущее» можно получить в интернете по ссылке step-into-the-future.ru

ИНСТРУМЕНТЫ НАКОПЛЕНИЯ РАБОТАЮТ ДАЖЕ В КРИЗИС

ТЕКСТ ИВАН ЛУНГУ, *финансовый консультант*

В прошлой статье («ИР» № 1) я писал о необходимости самостоятельного инвестирования с целью обеспечения финансовой независимости в будущем. В этом номере я хочу рассказать о том, куда в сегодняшние неспокойные времена, когда мы входим в эпоху «новой нормы», можно инвестировать средства.

С 2007 г. мы наблюдаем, как волны кризиса набегают одна за другой. Греция балансирует на грани дефолта, Испания движется в том же направлении, Европа рискует сменить интеграционные тенденции на противоположные, а США добавляют 1,5 трлн долл. к своему и без того «космическому» долгу. В то же самое время центральные банки развитых стран держат базовые ставки, близкие к 0 %, что создает ужасную ситуацию для тех, кто планирует инвестировать в активы с фиксированной доходностью. Прямо скажем: не самое лучшее время для выбора.

Трудности, с которыми встречаются инвесторы сегодня, сопоставимы с инвестиционным климатом времен Великой депрессии. Пенсионное планирование уже не является таким простым делом, каким было несколько десятилетий назад. Многие отказываются размещать свои средства в облигациях, приносящих доход меньший, чем уровень инфляции, но они так же боятся вкладывать в акции, помня обвал 2008 г. и сознавая, что он может быть не последним.

Итак, возникает вопрос: какие финансовые активы способны не только сохранить, но желательно и приумножить капитал современного инвестора?

Мой ответ: даже в столь жестком инвестиционном климате можно создать портфель инвестиционных активов, который будет генерировать достойный доход. Этот портфель может включать:

- корпоративных облигаций;
- дивидендных акций;
- фонды недвижимости;
- хедж- фонды;
- структурированные ноты.

Теперь – подробно о них.

КОРПОРАТИВНЫЕ ОБЛИГАЦИИ

Поскольку в нынешние времена государственные бумаги развитых стран показывают низкую доходность, инвесторы вынуждены искать более выгодные пристанища для средств, размещаемых в бумагах фиксированной доходности.

В качестве подходящих вариантов можно рассмотреть еврооблигации качественных российских эмитентов, мировых лидеров – таких как ArcelorMittal, Mercedes Benz, а также госструктур – правительства Австрии и муниципалитета города Монреаль. Обычно создается «лестница облигаций», и все бумаги держатся до своего погашения. Таким образом, инвестору заранее известен весь поток денежных средств, и уже не важен фактор волатильности (размах случайных колебаний рынка) цены на облигацию.

ДИВИДЕНДНЫЕ АКЦИИ

В данной категории необходимо рассматривать только те компании, которые стабильно выплачивают дивиденды на протяжении многих лет и из года в год увеличивают дивидендные выплаты. Из качественных дивидендных компаний можно выделить такие, как Johnson & Johnson, Coca-Cola, Royal Dutch Shell и др.. Перечислять их можно долго.

Одним из способов формирования позиций в этой категории может быть приобретение паев дивидендных фондов, которые из многих сотен компаний выбирают 60–70, соответствующих вышеуказанным параметрам. Эти фонды также используют опционные стратегии для получения дополнительного дохода. Такие фонды приносят из года в год от 6 до 8 % дивидендной доходности.

ФОНДЫ НЕДВИЖИМОСТИ

Конечно, многие задумываются о приобретении недвижимости в качестве самого консервативного актива, приносящего к тому же рентный доход. Но существуют и более ликвидные варианты инвестирования в недвижимость, которые избавляют инвестора от издержек по оформлению, налогообложению, управлению.

Альтернативой здесь является инвестирование в фонды недвижимости в разных странах. Есть возможность инвестировать в студенческое жилье Великобритании или в индекс Dow Jones U.S. Real Estate Index, FTSE EPRA/NAREIT. Данные фонды обеспечивают дивидендную доходность от 3 до 10 % в год.

ХЕДЖ-ФОНДЫ

Данный тип активов обеспечивает защиту капитала на падающем рынке. Эти фонды активно используют фьючерсные, опционные и арбитражные стратегии, обеспечивая тем самым стабильные показатели как на растущем, так и на падающем рынке.

Одним из кандидатов в портфель может стать фонд под управлением Winton Capital Management, который с 1997 г. показал среднегодовую доходность около 17 %.

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ

Этот продукт давно завоевал популярность среди западных инвесторов и только недавно пришел на российский рынок. Он предоставляет защиту инвестированного капитала и возможности получения повышенной доходности.

Структурированная нота с гарантией возврата вложенного капитала – это инструмент, призванный обезопасить инвестора от нежелательной для него динамики изменения курса определенной акции или группы акций, или индекса. Вариантов нот может быть несметное множество, и выбор той или иной ноты зависит от рыночной конъюнктуры. На данный момент очень интересна нота на золото с 70 –процентным уровнем защиты капитала и фактором участия 305 %. При том что цена на золото на конец мая находится на уровне 1550 долл./унция, инвестирование в золото даст потенциально высокий доход.

Я начал регулярную рассылку предложений от ведущих западных банков по структурированным нотам. Подписаться на эту рассылку можно, пройдя по ссылке http://bit.ly/LDASsm.

Обратившись к финансовому консультанту, вы получите возможность сформировать индивидуальный инвестиционный портфель, учитывающий такие важные моменты, как горизонт инвестирования, допустимый уровень риска, общие активы клиента. Каждый инвестор должен иметь свой собственный план инвестиций, и только следуя этому плану, можно достичь заявленной цели – финансовой независимости и благополучия в будущем. ИР

ИВАН ЛУНГУ
ФИНАНСОВЫЙ КОНСУЛЬТАНТ (FAIQ, CF1, CF2)
СЕРТИФИЦИРОВАН БРИТАНСКИМ ИНСТИТУТОМ СТРАХОВАНИЯ (CII)
ЧЛЕН БРИТАНСКОГО ОБЩЕСТВА ЛИЧНЫХ ФИНАНСОВ (THEPFS)
+7 (495) 684 0400 | IVANLUNGU@AVCADVISORY.COM
SKYPE: IVANLUNGU | TWITTER: @IVANLUNGU
WWW.AVCADVISORY.COM