

Al-Si сплавов // Интенсификация литейных технологий. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1989. – С. 39-42.

15. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Микронеоднородность металлов и сплавов. – М.: Metallurgy, 1985. – 216 с.
16. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Структурообразование и формирование свойств сталей и сплавов. – Киев: Наук. думка, 1993. – 382 с.

Поступила 05.05.2009

УДК 621.744.362

П. В. Русаков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЛИТЕЙНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ОТОБРАЖЕНИЕМ ОБРАЗОВ ЭНЕРГОСИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Обоснована теория построения литейно-технологических систем (ЛТС) с модулями отображения образов внешнего энергосилового воздействия на отливку. Рассмотрено два класса ЛТС, построенных по принципам термического и механического преобразований вводимой энергии. Раскрыты отдельные системные решения структур адаптивных ЛТС.

Обґрунтована теорія побудови ливарно-технологічних систем (ЛТС) з модулями відображення образів зовнішнього енергосилового втручання в процес лиття. Розглянуто два класи систем, які побудовані на принципах термічного та механічного перетворення енергії, що вводиться. Розкриті окремі системні рішення структур адаптивних ЛТС.

The theory of construction of casting equipment which includes the modules of images of power disturbance is considered. Two classes of the systems are grounded on principles of thermal and mechanical transformation of the entered energy.

Ключевые слова: литейно-технологические системы, энергосиловое воздействие, отливка, энергетический образ.

Введение

Качество и оперативность контроля протекающих изменений в формировании структуры отливки зависят от точности выбранных измерительных средств и достигнутого уровня обработки снимаемой информации. Можно отметить, что современное состояние мониторинга изменяющихся свойств металлов в процессе обработки вошло в фазу конструирования литейно-технологических систем (ЛТС) с подсистемами формирования образов - отображений энергосилового воздействия. Реально это стало возможным за счет кибернетического переоснащения литейного производства и развития новых методов внешнего воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл [1-3]. Тенденции современного развития литейных технологий связаны также с развитием новых методов управления отдельными процессами: формовки, литья, формирования НДС* и т. д. [4-6], обеспечивающих экономию энергетических и материальных затрат в производстве литейной продукции. Внедрение компьютерных технологий в литейные процессы приблизилось к состоянию, когда применение методов классической теории управления, системного анализа, принятия решений, исследования операций и других оказывается менее эффективно и уже не составляет конкуренции развивающимся кибернетическим методам управления литейно-технологическими системами (ЛТС). Становятся также очевидными

*НДС – напряженно-деформированное состояние отливки

Новые методы и прогрессивные технологии литья

преимущества интеллектуально-ориентированного управления, бурно развивающегося в настоящее время во всех теоретических и практических направлениях [7-10].

Постановка проблемы

Рассмотрим два класса ЛТС в зависимости от способа преобразования электроэнергии в полезную работу (рис. 1). К первому классу относятся устройства для получения тепловой энергии, ко второму – устройства для преобразования электрической энергии в механическую работу.

В настоящей работе поставлены следующие задачи:

- теоретически обосновать модели ЛТС с подсистемами отображения энергочастотных образов, включая метод регистрации портретов откликов объекта ЛТС на изменение параметров внешних воздействий;
- разработать класс адаптивных ЛТС с управлением процессами путем контроля сигналов образов – отображений энергосиловых возмущений, воздействующих на объект.

Вышеотмеченные цели можно отнести как к рассматриваемым схемам построения

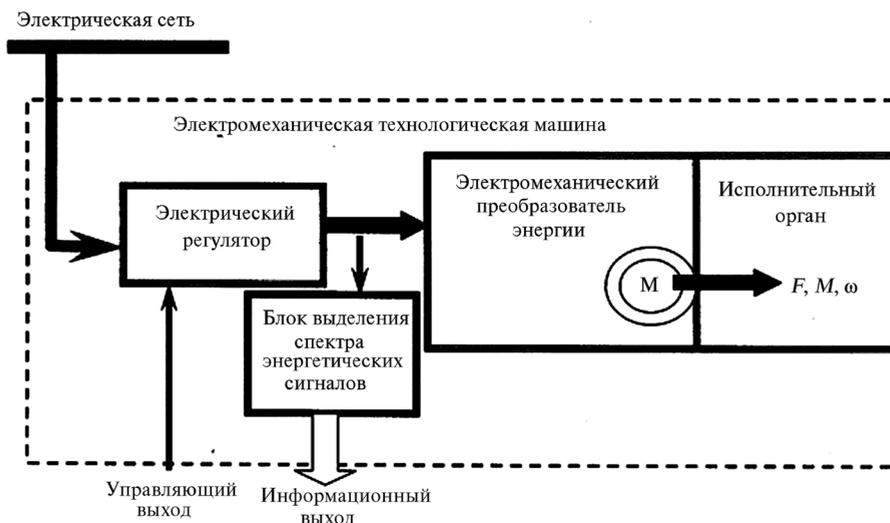
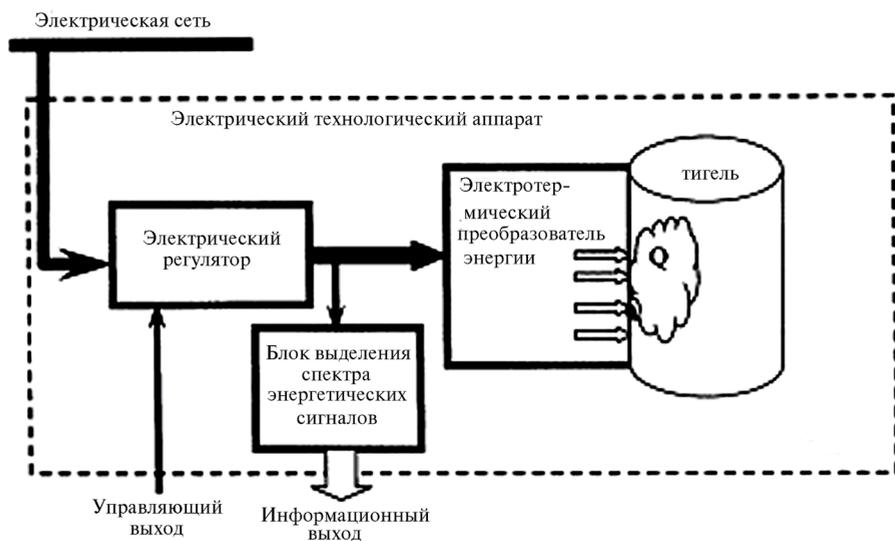


Рис. 1. Дифференциация классов литейно-технологических систем по типу преобразования электрической энергии в полезную работу: а – системы с тепловым преобразованием; б – структура систем с механическим преобразованием энергии

ЛТС для получения полезной тепловой энергии (рис. 1, а), так и для осуществления механической работы (рис. 1, б).

Еще одной мотивацией настоящей работы могут служить возрастающие требования к расширению функциональных возможностей автоматизированных ЛТС. В настоящее время приобретают актуальность задачи, которые еще недавно даже не рассматривались при построении автоматизированных систем управления (АСУ) литейным производством. Так, для процессов индукционной плавки проблемной является задача управления в квазистационарных режимах функционирования при повторных пусках и поддержании оптимальных режимов работы печи, а также сохранение основного электротеплового режима преобразования энергии при кратковременных провалах напряжения питающей сети и другие [11].

Системный анализ действующих ЛТС с замкнутыми контурами регулирования технологических параметров

При построении замкнутых систем автоматического регулирования необходимым условием является организация в них обратных связей по контролируемым параметрам процесса. С этой целью выделяют отдельные переменные величины, измерение и контроль которых являются доступными в рассматриваемой технологической системе. Анализируя существующие технологические системы литья [12-14], можно отметить, что большинство из них основаны на принципах построения замкнутых контуров регулирования при последовательной декомпозиции технологического процесса на составляющие операции и выделении ряда параметров, с помощью которых можно прямо или косвенно контролировать текущее состояние процесса формирования литой детали: температуру плавки; температуру заливки металла в форму; динамические параметры движения расплава и формы; температурное состояние формы; температурное состояние отливки.

ЛТС управления процессом центробежного литья имеет четыре контура регулирования параметров процесса, конструктивно составляющих две взаимосвязанные подсистемы: подсистему формирования отливки (ПФО) и подсистему подачи расплава (ППР).

Компоновка ЛТС из отдельных подсистем, каждая из которых функционирует во взаимосвязи, позволяет детерминировать процесс управления и путем оптимизации каждого из регулируемых параметров обеспечивать заданное качество литья.

Однако когда дело касается построения адаптивных и самообучающихся ЛТС, необходимы новые принципы построения ЛТС с учетом векторной многомерности имеющейся информации и построения моделей систем, связывающих параметры внешнего воздействия на объект с параметрами управления.

Модели систем при электромеханическом преобразовании энергии

Рассматривая особенности плавильных, литейных, формовочных и других классов технологических машин, можно отметить, что все они относятся к ЛТС [6,14], в которых происходят процессы трансформации электрической энергии в теплоту и механическую работу. Из закона сохранения энергии для электромеханического преобразователя следует

$$dW_{\text{э}} = d(W_{\text{м}}) + d(W_{\text{эл}}) + d(W_{\text{мех}}) + d(W_{\text{тепл}}), \quad (1)$$

где $W_{\text{э}}$ – энергия входящего энергетического потока; $W_{\text{эл}}$ – электрические потери; $W_{\text{мех}}$ – механическая энергия, полученная и (или) трансформированная из входящего энергетического потока; $W_{\text{м}}$ – магнитная энергия, запасенная в магнитном поле; $W_{\text{тепл}}$ – тепловая энергия, преобразованная из электрической. На рис. 2 приведена обобщенная структурная схема отбора и логического анализа сигналов мощности регулируемого энергетического потока, потребляемого ЛТС для совершения тепловой и механической работы. Заметим, что преобразование электричества в механическую энергию невозможно без участия электромагнитного поля.

К внешним силовым и энергетическим возмущениям, применяемым для формирования структуры отливки, относят вибрационные, центробежные и ударные виды нагружения, импульсы электромагнитного поля, воспринимаемые объектом, а также различные виды электротермического воздействия. Общая часть схемного решения по отбору и анализу сигналов для всех ЛТС, в которых осуществляется воздействие энергосиловых

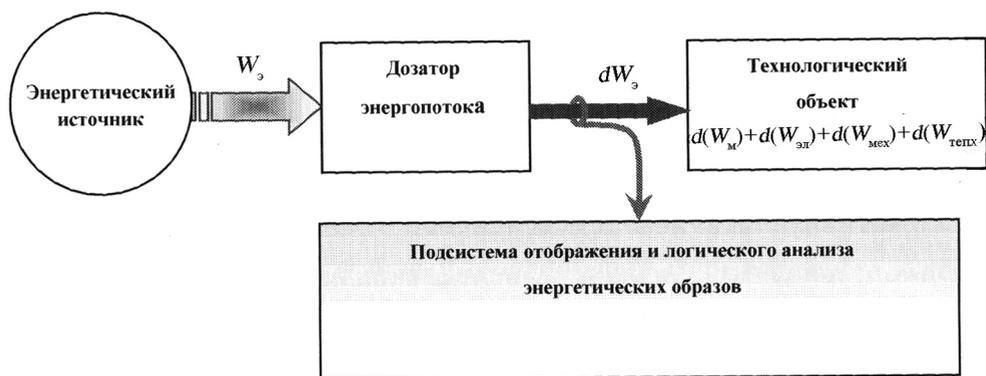


Рис. 2. Структурная схема отбора и логического анализа сигналов мощности энергетического потока, потребляемого технологическим объектом

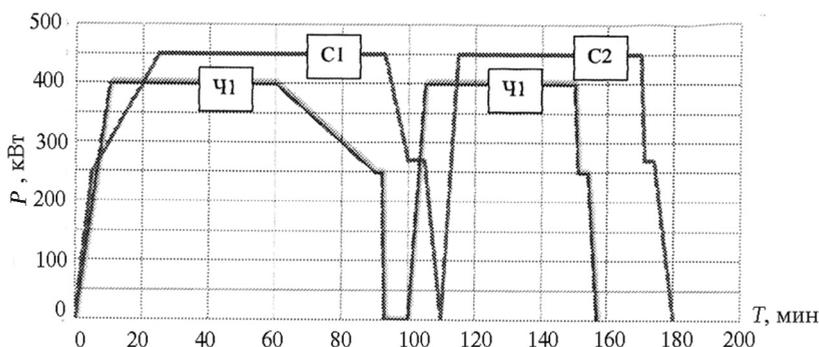
возмущений на технологический объект (рис. 3), заключается в следующем. Дозатор энергии регулирует подачу энергосилового возмущения, воздействующего на технологический объект: отливка, форма, литейная машина, отжиговая печь. В зависимости от термодинамического состояния объект по разному в измеряемые промежутки времени осуществляет реакционный отклик на энергосиловое возмущение. Преобразование и перераспределение энергии в самом объекте может иметь стабильный или изменяющийся характер, который будет отображаться определенным набором активно-реактивных портретов объекта, зафиксированных системой через установленные промежутки времени.

Структуры ЛТС с подсистемами для анализа образов-откликов обладают высокой степенью информативности о состоянии формируемого объекта и создают возможность реализации моделей, в которых обратная связь формируется сигналами, селективно выделяемыми при анализе текущих изменений образов объекта на внешнее воздействие.

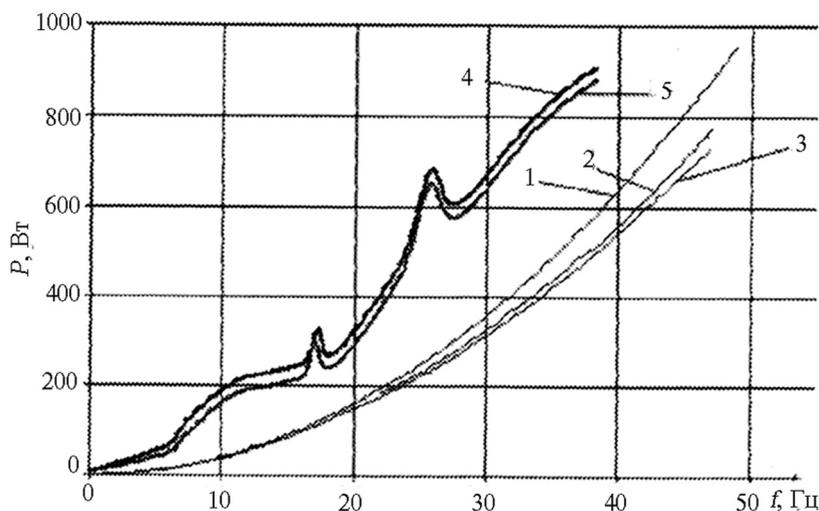
Параметры выделяемых энергетических сигналов для контроля и управления ЛТС

Рассматривая ЛТС как систему, содержащую подсистему для анализа характера энергосиловых воздействий и выделения диссипативных сигналов, будем отталкиваться от прогнозируемого характера реакционного поведения объекта и наблюдаемых при этом изменяющихся его характеристик. Технический паспорт объекта и диапазон изменения свойств являются основными условиями для выбора модели и разработки структуры построения ЛТС. Спектр энергетических сигналов, снимаемых при энергосиловом воздействии, будет описывать общее активно-реактивное поведение системы, а выделяемый поток диссипативных сигналов одновременно отражать комплекс свойств самого объекта. В системах с многоконтурным регулированием объем пакета регистрируемых сигналов существенно может быть расширен за счет одновременного участия в формировании сигналов – отображений отдельных контуров регулирования. Поэтому для нахождения искомым характеристик для построения диссипативного портрета, необходимого для изучения свойств объекта (материала, отливки), целесообразно решать многопараметрическую задачу. Эффективное ее решение предполагает выбор такой комбинации условий создания внешнего воздействия и средств извлечения заложенной в ответной реакции объекта информации, при которых достигается высшая степень корреляции между искомыми параметрами материала и измеряемыми энергетическими сигналами.

Поскольку каждый объект ЛТС обладает индивидуальными особенностями, которые отображаются в спектре энергетических сигналов его элементов и представляют собой энергочастотный паспорт конкретной литейной продукции, то формирование и прочтение этого паспорта требует индивидуальных подходов при задании внешнего воздействия и съеме параметров отклика объекта на заданное возмущение. Иначе говоря, эффективное использование энергетических методов контроля при получении информации в ЛТС о состоянии объекта со сложной структурой требует согласования чувствительности контролируемых параметров, коррелируемых с определенными свойствами материала объекта. Уровень отображения свойств объекта в энергетических сигналах может



а



б

Рис. 3. Формы информативных энергетических сигналов: а – регистрируемые сигналы при электротепловом преобразовании энергии: С1, С2 – энергетические характеристики плавки стали 20Л в холодном и прогревом тигле соответственно, Ч1, Ч2 – энергетические характеристики плавки чугуна марки ЧХ7, соответственно первая и вторая плавки; б – стробируемые энергетические сигналы при преобразовании электрической энергии в механические колебания: 1-3 – кривые последовательных циклов вибрационной формовки насыпных литейных форм; 4, 5 – характеристики первого и последнего циклов вибростабилизирующей обработки стального вала трансмиссии морского судна

определяться характеристикой диссипативной функции, анализируемой для описания объекта, например, свойств формируемой отливки при наложении вибрационного воздействия на форму. В качестве примера на рис. 3 приведены разновидности форм информативных энергетических сигналов, регистрируемых при электротепловом преобразовании энергии (рис. 3, а) и электрической энергии в механические колебания (рис. 4, б). Как вытекает из сопоставления графиков, во всех приведенных примерах внешнего воздействия в процессе обработки происходят изменения расположения кривых по частотным и временным осям, а также изменения их амплитудных значений.

Структура адаптивных ЛТС с управлением по энергетическим отображениям

К классу адаптивных ЛТС с управлением процессами по образам – энергосиловых возмущений, воздействующих на объект, можно отнести ряд плавильных центробежно-литейных, формовочных вибрационных и других установок и машин, в которых происходит преобразование электрической энергии в механическую работу. В качестве примера рассмотрим ЛТС с внешним воздействием на объект механических колебаний.

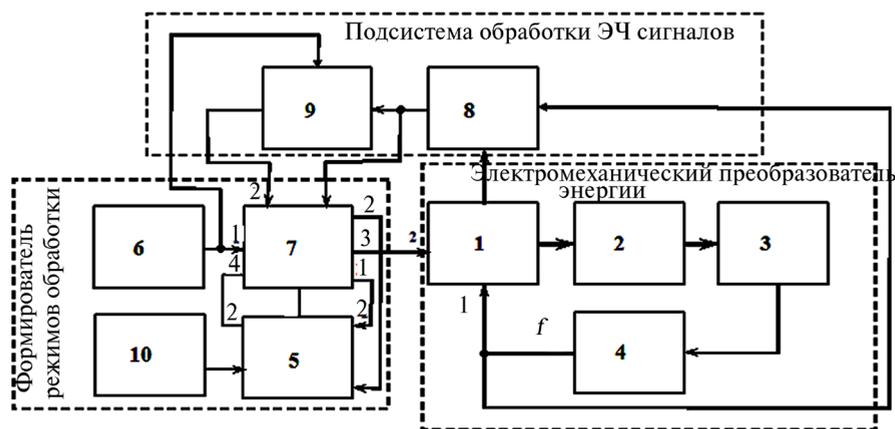


Рис. 4. Структурная схема вибрационной ЛТС с подсистемой отбора и обработки энергетических сигналов: 1 – полупроводниковый регулятор частоты вибрации; 2 – электрическая машина; 3 – механизм возбуждения вибраций; 4 – датчик частоты вибрации; 5 – переключатель; 6 – генератор; 7 – блок поиска и формирования режима задания частоты вибрации; 8 – измерительный датчик энергетических сигналов; 9 – блок оценки энергетической диссипации; 10 – кнопка пуска

Функциональная схема, реализующая этот принцип, приведена на рис. 4. В данном техническом решении предусматривается контроль процесса возбуждения механических колебаний с контролем диссипативной составляющей энергии внешнего воздействия на систему. Структура указанной схемы состоит из трех блоков: электромеханического преобразователя энергии, формирователя режимов обработки и подсистемы обработки энергочастотных (ЭЧ) сигналов.

Электромеханический преобразователь энергии (рис. 4) содержит полупроводниковый регулятор 1 частоты вибрации; электрическую машину 2; механизм 3 возбуждения вибраций; датчик 4 частоты вибрации. Блок формирования режимов обработки включает переключатель 5, генератор 6, блок 7 поиска и формирования режима задания частоты вибрации, кнопку 10 запуска системы. В состав блока формирования режимов обработки входят измерительный датчик 8 сигналов активной мощности, блок 9 оценки энергетической диссипации. Задание тактовой частоты осуществляется на первый управляющий вход блока 7 и на блок 9 оценки энергетической диссипации с выхода генератора 6. В свою очередь, выход блока 9 соединен со вторым управляющим входом блока 7 поиска и формирования режима задания частоты вибрации. Третий и четвертый управляющие входы блока 7 соединены соответственно с первым и вторым выходами переключателя 5, первый и второй входы которого соединены соответственно с первым и вторым выходами блока 7, третий выход которого соединен со вторым управляющим входом полупроводникового регулятора 1. Информационный вход блока 7 поиска и формирования режима задания частоты вибрации соединен с входом блока 9 оценки энергетической диссипации и выходом измерительного датчика 8 сигналов активной мощности, вход которого соединен с информационным выходом полупроводникового регулятора 1.

Оценка уровня активной диссипации* происходит с помощью анализа комплекса текущих значений мощности P в диапазоне задаваемых частот вибрации f . Измерение мощности потребляемой электрической машиной 2 осуществляется с помощью датчика мощности, выходной сигнал которого связан с блоком 9 оценки энергетической диссипации, где относительное изменение мощности $P_{отн}$ формируется согласно выражению

$$P_{отн} = (P_2 - P_1) / P_1, \quad (2)$$

* Активная диссипация – доля общего энергетического рассеяния, выделяемого непосредственно в обрабатываемом объекте

где P_1 и P_2 - текущее и последующее значение мощности потребляемой электрической машиной 2.

О наличии активной составляющей диссипации судят по изменению величины $P_{отц}$, которая является показателем для определения резонансных рабочих режимов или эффективной области частот для последующего формирования режима обработки.

Выводы

Раскрыты теоретические основы построения литейно-технологических систем с модулями отображения образов внешнего энергосилового воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл. Наибольшее распространение структуры ЛТС с подсистемами для анализа образов-откликов получают при конструировании центробежных литейных установок, формовочных машин, построении систем контроля напряженного состояния с использованием образов, формируемых по спектру снимаемых энергетических сигналов. Представляется научно обоснованным проведение дальнейших работ по разработке класса адаптивных ЛТС с управлением процессами путем контроля сигналов образов – отображений энергосиловых возмущений воздействующих на объект.



Список литературы

1. *Найдек В. Л., Наривский А. В.* Повышение качества отливок из алюминиевых сплавов плазмореагентной обработкой их расплавов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.
2. *Ефимов В. А., Эльдарханов А. С.* Технологии современной металлургии. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
3. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / Под ред. О. В. Абрамова, В. М. Приходько. – М.: Янус-К, 2006. – 688 с.
4. *Становский А. Л., Лысенко Т. В., Носенко Т. И.* Синхронизирующее замкнуто-разомкнутое управление системой отливка – песчаная форма // Литейн. пр-во. – 2008. – № 4. – С. 35-37.
5. *Пельх С. Г., Пономаренко О. И., Радченко А. А.* Диагностика технологических процессов изготовления отливок // Литье и металлургия. – 2002. – № 2. – С. 92-94.
6. *Русаков П. В.* Выбор информативных параметров при виброобработке отливок // Интенсификация литейных технологий. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1989. – С. 70-72.
7. *Zhdanov A. A., Ryadovikov A. V.* Neural Models in the Autonomous Adaptive Control Method // Optical Memory and Neural Networks. – 2000. – Vol. 9, № 2. – P. 115-132.
8. *Kingdom J.* Intelligent Systems and Financial Forecasting. – Berlin: Springer-Verlag, 1997. – 227 p.
9. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
10. *Сорокер Л. В., Боровков Г. А.* К вопросу получения информации о технологическом процессе как объекте автоматизации // Цв. металлургия. – 1999. – № 2-3. – С. 40-42.
11. *Найдек В. Л., Русаков П. В., Шинский О. И.* Индукционно-тигельные среднечастотные печи. Энергетическая стратегия конструктивно-технологической оптимизации // Процессы литья. – 2007. – № 6. – С. 24-28.
12. *Русаков П. В., Богдан К. С., Панащук А. С.* Управление процессом центробежного формирования биметаллических отливок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 7. – С. 78-86.
13. Специальные способы литья: Справочник / Под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
14. *Русаков П. В., Шинский О. И.* Следящие системы управления подачей потока расплава в газифицируемые формы // Процессы литья. – 2005. – № 3. – С. 88-92.

Поступила 18.03.2009