

АДАПТИВНАЯ ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Шайхутдинов Д.В.¹, Горбатенко Н.И.¹, Широков К.М.¹, Гречихин В.В.¹, Ланкин А.М.¹

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия (436428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: iimt-srstu@mail.ru

Повысить эффективность использования материалов и обеспечить заданные эксплуатационные параметры электротехнических изделий, в частности электроприводов различного назначения, позволяет адаптивное управление технологическим процессом их изготовления. В статье предлагается система управления, обеспечивающая оптимальное использование всех имеющихся ресурсов для достижения высоких эксплуатационных параметров конечных изделий при соблюдении ограничений по используемым материалам, средствам технологического контроля и управления их производством. Предложенная система автоматического управления основана на моделировании технологического процесса. Для получения первичной информации для моделирования предлагается использовать устройства и приборы контроля деталей изделий на различных этапах технологического процесса. Таким образом, решается задача оптимальной обработки информации, заключающейся в фильтрации динамических процессов и реакции на случайные воздействия в ходе технологической обработки с целью параметрической идентификации, выполняемой в реальном масштабе времени в эксплуатационных режимах объекта управления.

Ключевые слова: система управления, магнитные характеристики, электромагниты, измерение, приборы

ADAPTIVE AUTOMATED SUBSYSTEM FOR THE CONTROL OF PRODUCTION OF INTELLIGENT ELECTRIC DEVICES

Shaykhutdinov D.V.¹, Gorbatenko N.I.¹, Shirokov K.M.¹, Grechikhin V.V.¹, Lankin A.M.¹

¹ Platov South-Russian State Polytechnical University (NPI), Novocherkassk, Russia (436428, Novocherkassk, st. Prosvyasheniya, 132), e-mail: iimt-srstu@mail.ru

Adaptive control of manufacturing of electrical products for various applications provides the most efficient use of materials and the required operating characteristics of devices. The paper proposes a management system that provides the optimum use of all available resources to achieve high operational parameters of final products within the constraints of the materials used, the means of production control and management of their production. The proposed automatic control system based on the simulation process. The devices and testing instruments parts products at various stages of the process is proposed to use to obtain a initial information for modeling. Thus the problem of optimum processing of information is solved by filtering of the dynamic processes and responses to various random impacts, arising during controlling with the purpose of parametric identification performed in real time in the operating conditions of the control object.

Keywords: control system, magnetic characteristics, electromagnets, measurement instruments

Повысить эффективность использования материалов и эксплуатационные параметры электротехнических изделий, в частности электроприводов различного назначения, позволяет управление технологическим процессом их изготовления. Наиболее эффективным является управление, построенное на принципах:

- активного контроля магнитных свойств заготовок изделий на различных этапах технологического процесса [1, 4, 17], обеспечивающего повышение технологической точности путем выбраковки негодных и формирования базы данных свойств годных и частично годных деталей;

- адаптивного управления параметрами отдельных технологических операций на

основании анализа результатов контроля и применения моделирования технологического процесса.

При этом система управления должна обеспечивать оптимальное использование всех имеющихся ресурсов для достижения конечной цели при соблюдении ограничений. Важной задачей становится оптимальная обработка информации, заключающейся в фильтрации переменных динамических процессов с целью параметрической идентификации, выполняемой в реальном масштабе времени в эксплуатационных режимах объекта управления. Кроме того, оптимальная система автоматического управления должна предусматривать методы резервирования и структурного обеспечения надежности, в частности, принципы автоматической реконфигурации системы при отказах.

Цель работы: разработка подсистемы управления технологическим процессом производства интеллектуальных электроприводов, повышающей эффективность использования материалов и эксплуатационные параметры продукции.

Материал и методы исследований: методы теории автоматического управления, элементов теории планирования эксперимента, теории измерений, математического моделирования.

Результаты и обсуждение

Системы управления производством (*MES*) направлены на повышение экономической эффективности производств за счет снижения их энергоемкости и повышения выхода годных изделий. Для решения данной задачи *MES* должна руководствоваться стремлением к достижению максимума некоторого целевого функционала эффективности производства $\Theta(\bar{\varphi}, \bar{\phi})$, который связывает технологические параметры производства $\bar{\varphi} = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m]$ с параметрами, характеризующими эффективность производственно-хозяйственной деятельности предприятия $\bar{\phi} = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]$ [5]. Для нахождения максимума целевого функционала эффективности производства $\Theta(\bar{\varphi}, \bar{\phi})$ его подразделяют на две подфункции: $\Theta_T(\bar{\varphi})$ – технологическую составляющую, и $\Theta_E(\bar{\phi})$ – производственно-хозяйственную составляющую, и дополнительно вводят функцию взаимодействия $M(\bar{\mu})$, где $\bar{\mu}$ – вектор взаимодействия между подсистемами предприятия:

$$\Theta(\bar{\varphi}, \bar{\phi}) = \Theta(\Theta_T(\bar{\varphi}), \Theta_E(\bar{\phi}), M(\bar{\mu})). \quad (1)$$

Для достижения высокоэффективного производства с учетом всех составляющих уравнения (1), систему управления предприятием необходимо реализовывать в виде иерархических уровней [10, 27]: уровень управления отдельными устройствами, агрегатами и машинами, управляемыми автоматически, уровень территориально распределенных

автоматизированных производств, в контуры управления которыми включены технические службы предприятия, уровень автоматизированного управления предприятием, в контура управления которого включены экономические и финансовые службы предприятия (ERP). Каждый уровень должен осуществлять оптимальное управление в соответствии с требуемыми параметрами, сформированными системой управления более высокого уровня, реализующей функцию взаимодействия $M(\bar{\mu})$.

В данной статье рассмотрен уровень управления технологическим процессом – отдельными устройствами, агрегатами и машинами. В качестве примера данной системы предлагается подсистема автоматического управления технологическим процессом производства интеллектуальных электроприводов (ИЭП), реализующая методы активного контроля и адаптивного управления отдельными технологическими операциями, представленная на рисунке 1.

Данная подсистема осуществляет управление технологическим процессом производства ИЭП, направленное на повышение количества годных изделий и эффективности их функционирования путем организации активного контроля на операциях механической (МО), термической обработки (ТО), сборки магнитопроводов (СМ), укладки обмоток (УО), установки системы управления на электромагнитную систему (УСУ), настройки системы управления (НСУ). В процессе производства технологические операции подвергаются воздействию случайных факторов (V_{mo} , $V_{то}$, $V_{см}$, $V_{уо}$). Комплекс технических средств подсистемы образуют:

- устройства активного контроля листов электротехнической стали (УК1), контроля сформированных заготовок из листовой электротехнической стали (УК2), устройство контроля заготовок из магнитотвердых материалов (УК3), устройство контроля магнитопроводов (УК4), устройство контроля микропроцессорной системы управления (УК5), устройство измерения вебер-амперных характеристик электромагнитных систем приводов (УИВБАХ), стенд общей диагностики и настройки параметров регулятора системы управления ИЭП (СДиНПР);

- устройства управления технологическими операциями (УУТО1..5) (параметрами механической, термической обработки, параметрами режущего оборудования и др.);

- устройства ввода-вывода (УВВ) информации;

- устройство моделирования технологического процесса (УМТП);

- устройство моделирования и прогнозирования магнитного состояния (УМиП МС).

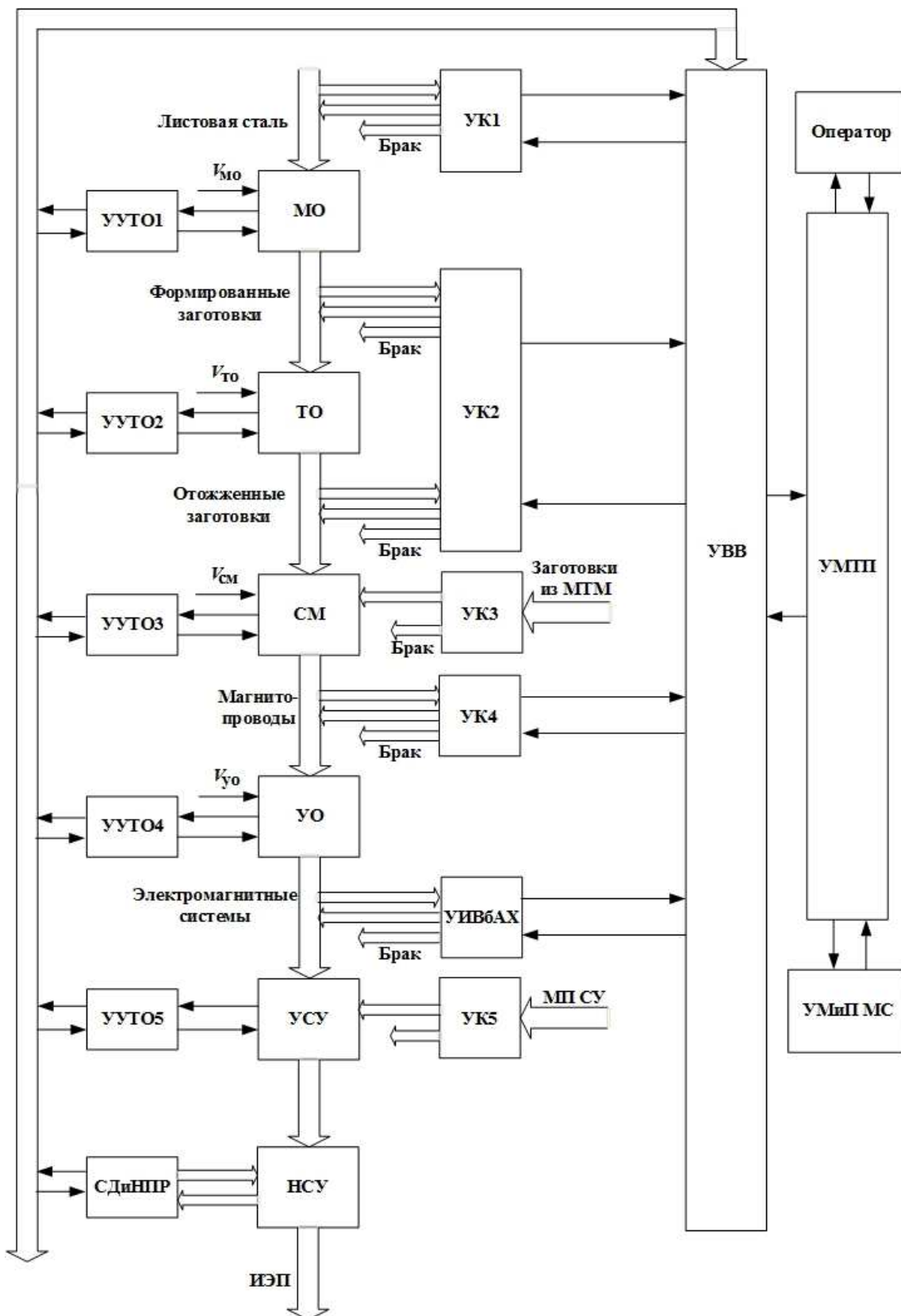


Рис. 1. Структурная схема подсистемы управления технологическим процессом производства интеллектуальных электроприводов

Адаптивная подсистема управления технологическим процессом производства ИЭП в части обработки листовой электротехнической стали (рис. 1) функционирует следующим образом. Электротехническая сталь поступают на производство в виде целых листов и

проходит входной контроль в устройствах УК1 [12, 14, 15, 16, 22, 29]. Устройства контроля УК1 определяют магнитные характеристики листов до этапа механической обработки и передают через устройство ввода-вывода в устройство моделирования технологического процесса. Целые листы, не соответствующие требованиям производства, отправляются в брак. Листы, удовлетворяющие, либо частично удовлетворяющие требованиям, отправляются на механическую обработку.

Устройство моделирования технологического процесса является частью подсистемы, на базе которой реализуются функции адаптивного управления [8]. Данное устройство содержит набор математических моделей прогнозирования эксплуатационных свойств ИЭП при известных свойствах заготовок, построенных с применением всей имеющейся априорной информации. Модели являются адаптивными, то есть их коэффициенты и/или структура изменяются в зависимости от результатов экспериментальных испытаний в процессе функционирования системы управления. Выходной информацией УМТП являются дискретные команды управления для устройств контроля УК1-УК4 («брак/годен») и команды гибкого управления технологическими операциями, реализуемыми УУТО1-5.

После операций штамповки, рубки, резки УК2 выполняет сортировку полученных листовых заготовок на n групп. На основании результатов измерения параметров заготовки УМТП принимает решение направить $(n-1)$ групп на термическую обработку по восстановлению магнитных свойств, а одна группа составляет брак, не подлежащий восстановлению. На этапе ТО группы подвергаются отжигу с параметрами, установленными УМТП для каждой группы отдельно. После термической обработки производится повторный контроль магнитных параметров отожженных заготовок в УК2, а затем – механическая сборка магнитопроводов. На данном этапе в состав магнитопроводов могут быть добавлены постоянные магниты, прошедшие контроль в УК3 [2, 6, 13]. Готовые магнитопроводы проходят контроль качества в УК4 [3, 11, 19, 20], по результатам которого УМТП формирует необходимые параметры для технологической операции УО (число витков, коэффициент заполнения и т.д.). Готовые электромагнитные системы проходят контроль в УИВБАХ [25, 26]. На следующем этапе в состав изделий включаются микропроцессорные системы управления ИЭП, прошедшие контроль в УК5 [18, 21]. Заключительным этапом является испытание ИЭП в стенде диагностики и настройки параметров регуляторов системы управления его работой [7, 9, 23, 24, 28].

Разработанная адаптивная подсистема управления, основанная на устройствах контроля магнитных параметров заготовок, повысит надежность работы выпускаемых изделий, снизит энергетические затраты на производство, повысит выход годных изделий.

Результаты работы получены в рамках выполнения показателей по стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики в период с 2015 по 2017 гг., номер гранта СП-4108.2015.1.

Список литературы

1. Горбатенко Н.И. Натурно-модельные испытания изделий из ферромагнитных материалов / Н.И. Горбатенко – Ростов н/Д : СКНЦ ВШ., 2001. С. 20-23.
2. Горбатенко Н.И., Ланкин М.В., Наракидзе Н.Д., Шайхутдинов Д.В., Тришечкин Д.В. Устройство для испытания изделий из ферромагнитных материалов//Патент России на изобретение № 2357265.2009. Бюл. № 15.
3. Горбатенко Н.И., Ланкин М.В., Шайхутдинов Д.В., Широков К.М. Устройство для измерения характеристик магнитомягких материалов//Патент России на изобретение № 2390789.2010. Бюл. № 15.
4. Гречихин В.В. Устройства активного контроля магнитных характеристик для систем управления производством изделий из ферромагнитных материалов: дис. канд. техн., наук. — Новочеркасск. 2000. — 254 с.
5. Добровольский О.Г. Опыт построения современных интегрированных систем автоматического // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2014. - №6. – С. 4-7.
6. Ланкин М.В., Горбатенко Н.И., Гришин А.С., Пжилуский А.А. Устройство для классификации ферромагнитных материалов по форме кривой намагничивания // Патент России на изобретение № 2185635. 2004. Бюл. № 16.
7. Леухин Р.И., Шайхутдинов Д.В. Программное обеспечение автоматического выявления отдельных особенностей движения якоря электромагнита // Фундаментальные проблемы науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2015. С. 55-57.
8. Савин М.М. Теория автоматического управления : учеб. пособие / М.М. Савин, В.С. Елсуков, О.Н. Пятина; под ред. д.т.н., проф. В.И. Лачина. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – С. 412 - 417.
9. Сахавова А.А., Широков К.М., Январев С.Г. Применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик в автоматизированной системе бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: www.science-education.ru/111-10234 (дата обращения: 04.10.2013).
10. Шайхутдинов Д.В. Информационные и измерительные технологии в производстве электротехнических изделий // Избранные вопросы современной науки: монография / Горюнова С.В., Гринько Е.П., Логинова А.С., Пиджаков А.Ю., Борисенко А.Ю., Сушкова

Л.Н., Узун О.Л., Надеин К.А., Шайхутдинов Д.В. – Центр научной мысли, научный редактор Акутина С.П.. Москва, 2014. С. 175-207.

11. Шайхутдинов Д.В. Метод контроля магнитных свойств изделий из магнитомягких материалов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 4. С. 46-50.

12. Шайхутдинов Д.В. Устройство для экспресс-испытаний изделий из листовой стали // Контроль. Диагностика.– 2011. – №6(156). – С.55-61.

13. Шайхутдинов Д.В., Ахмедов Ш.В., Леухин Р.И. Система автоматического регулирования для информационно-измерительной системы контроля постоянных магнитов // Инновационный вектор развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции / - Уфа: АЭТЕРНА, 2014. – С. 41-43.

14. Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Ахмедов Ш.В., Шайхутдинова М.В. Датчик и прибор для измерения магнитных параметров листовой электротехнической стали // Современные проблемы науки и образования - 2013. - №4. - URL: www.science-education.ru/110-9756.

15. Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Наракидзе Н.Д., Леухин Р.И., Широков К.М., Дубров В.И., Стеценко И.А., Ахмедов Ш.В. Измерительный преобразователь напряженности магнитного поля для прибора экспресс-испытаний изделий из листовой электротехнической стали // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/119-14895> (дата обращения: 14.10.2014).

16. Шайхутдинов Д.В., Горбатенко Н.И., Широков К.М. Устройство для измерения магнитных параметров изделий из листовой электротехнической стали на базе технологий National Instruments // Металловедение и термическая обработка металлов. 2014. № 11 (713). С. 43-45.

17. Шайхутдинов Д.В., Гречихин В.В., Боровой В.В. Методы и приборы экспресс-контроля магнитных параметров для промышленных систем управления // Современные проблемы науки и образования - 2012. - № 6. - URL: <http://education.ru/106-7516> (дата обращения: 16.05.2014).

18. Шайхутдинов Д.В., Дубров В.И., Стеценко И.А. Система контроля качества монтажа печатных плат для подсистемы управления производством электротехнических изделий // Актуальные проблемы технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. Научный Центр "Аэтерна". Отв. ред. Сукиасян А.А.. г.Уфа, Россия, 2014. С. 40-42.

19. Шайхутдинов Д.В., Ланкин М.В., Боровой В.В. Измерение магнитных характеристик элементов мехатронных систем в режиме последовательного резонанса // Известия вузов.

Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития.– С.177-179.

20. Шайхутдинов Д.В., Леухин Р.И., Широков К.М. Измерение магнитных параметров элементов мехатронных систем и диагностика их состояния на базе натурномодельного подхода // Эволюция современной науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян А.А. Уфа, 2015. С. 56-59.

21. Шайхутдинов Д.В., Стеценко И.А., Леухин Р.И. Разработка отладочных микропроцессорных систем на базе натурно-модельного подхода // Эволюция современной науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян А.А. Уфа, 2015. С. 59-61.

22. Шайхутдинов Д.В., Шайхутдинова М.В. Метод определения магнитных свойств электротехнической стали // Международный журнал экспериментального образования. - 2013.- №11-1. - С. 105-107.

23. Шайхутдинов Д.В., Январев С.Г., Широков К.М., Ахмедов Ш.В. Метод технической диагностики нарушений геометрических параметров магнитной системы электромагнитных устройств на базе их вебер-амперных характеристик // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8 (Ч.1). – С. 84-86.

24. Шайхутдинов Д.В., Январев С.Г., Широков К.М., Леухин Р.И. Метод технической диагностики межвитковых замыканий в электромагнитных устройствах на базе их вебер-амперных характеристик // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 8. – С. 69-71.

25. Широков К.М., Гречихин В.В. Исследование бессенсорных устройств определения магнитных характеристик для систем управления производством электромагнитов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – С. 1173-1178.

26. Широков К.М., Шайхутдинов Д.В., Дубров В.И., Январёв С.Г., Ахмедов Ш.В., Шайхутдинова М.В. Устройство магнитного контроля для подсистемы управления производством электротехнических изделий // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11665 (дата обращения: 16.05.2014).

27. Широков К.М., Леухин Р.И., Стенценко И.А. Интеграция технологического процесса производства электротехнических изделий в систему управления предприятием // Современный взгляд на будущее науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 апреля 2015 г., г. Уфа). в 2 ч. Ч.1/ - Уфа: АЭТЕРНА, 2015. – С. 51-54.

28. Широков К.М., Шайхутдинов Д.В., Леухин Р.И. Диагностика электромагнитов постоянного тока по веберамперной характеристике рабочего цикла // Современный взгляд на будущее науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции.

Уфа, 2015. С. 49-51.

29. Shaykhutdinov D.V., Gorbatenko N.I., Akhmedov Sh.V., Shaykhutdinova M.V., Shirokov K.M. Experimental and Simulation Tests of Magnetic Characteristics of Electrical Sheet Steel // Life Science Journal. -2013. -№ 10(4);
URL:http://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1004/361_22173life1004_2698_2702.pdf.

Рецензенты:

Елсуков В.С., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и телемеханика», ФГБОУ ВПО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова", г. Новочеркасск.

Кириевский Е.В., д.т.н., профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» ФГБОУ ВПО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова", г. Новочеркасск.