

Краткие сообщения

УДК 007.51

ОБЪЕКТЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Л.Б. Иванова

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23
E-mail: lixt@psati.ru

Моделирование процессов развития таких сложных систем, как корпоративные взаимоотношения, сопряжено с необходимостью описания отдельных элементов, образующих концептуальную модель, с последующим установлением связей между ними. Созданию математической модели, пригодной для имитационного моделирования любой сложной системы, всегда предшествует создание концептуальной модели. В статье рассмотрены объекты как элементы, образующие концептуальную модель сложных систем. Даны определения указанных элементов и основных связей между ними. Рассмотрены такие понятия, как состояние объекта и система объектов. Задача заключается в определении свойств объектов, существенно влияющих на процесс создания концептуальных моделей сложных систем.

Ключевые слова: концептуальная модель, объекты, элементы, связи, сложные системы.

Объекты

Все начинается с некоторого обобщенного понятия, которое мы называем «создатель», «демиург», многие его называют «космос». В математике это понятие может быть отождествлено с понятием бесконечности. В рамках этого понятия выделим некоторые его составляющие, которые назовем *объектами* – это могут быть скопления галактик или электроны. Не уходя в теорию относительности и параллельные миры, мы можем сказать, что каждый объект существует во времени и пространстве. Эти понятия характеризуют границы существования объекта. Каждому объекту присуще некоторое внутреннее состояние, от которого зависят его свойства. Свойства можно рассматривать как некоторые проявления состояния объекта по отношению к внешней среде. С другой стороны, внешняя среда всегда оказывает на объект определенные воздействия, приводящие к изменению состояния объекта и, следовательно, его свойств. Для описания состояний и свойств объекта мы всегда создаем модель [2].

Модель является другим объектом, однако к ней предъявляются определенные требования. Она должна быть адекватной, реализуемой и полезной. Модель практически никогда не отражает все свойства и все состояния объекта, она учитывает лишь те свойства и состояния, которые подлежат рассмотрению. Было бы

Людмила Борисовна Иванова (к.т.н., доцент.), доцент кафедры «Экономика и организация производства».

неразумно рассматривать поведение человека в трамвае на молекулярном уровне. Адекватность модели всегда рассматривается по отношению к тем состояниям и свойствам, которые подлежат рассмотрению. Многие объекты способны изменять свои состояния не только в результате внешних, но также и в результате внутренних воздействий, которые происходят между частями, составляющими рассматриваемый объект.

Объект, изменяющий свои состояния при отсутствии внешних воздействий, назовем *свободным объектом*, а процесс изменения состояний такого объекта назовем *свободным процессом*. Это аналогия свободным движениям в переходных процессах. Внутренние воздействия в объекте почти всегда зависят от состояния объекта, в то время как внешние могут не зависеть от состояния объекта и в частном случае вообще отсутствовать. Такой объект мы назовем *изолированным*. Для реализуемости модели количество свойств, принадлежащих объекту, с точки зрения моделирования должно быть ограничено и должно быть конечным. Что же касается числа состояний, то для аналоговых объектов это совсем необязательно, однако если мы хотим сделать цифровую модель, то придется сделать конечным и число моделируемых состояний. Каждое состояние объекта характеризуется определенными значениями некоторой группы параметров. При моделировании должно рассматриваться некоторое конечное число параметров, характеризующих состояние объекта. Указанные параметры изменяются во времени и в пространстве, и, следовательно, изменение состояния объектов также происходит во времени и в пространстве.

Совокупность значений параметров, характеризующая состояние объектов в данный момент времени, определяет мгновенное состояние объекта. Внешние воздействия на объект в данный момент времени назовем *мгновенным внешним воздействием*. Совокупность мгновенных внешних воздействий и мгновенного состояния объекта определяют мгновенную ситуацию, в которой находится объект. Если изменение параметров, характеризующих состояние объекта и изменение внешних воздействий, носит непрерывный характер, то изменение ситуации также происходит непрерывно.

Подмножество состояний объекта, для которых значения всех параметров, характеризующих его состояние, находятся в пределах заданных ограничений, назовем *дискретным состоянием объекта*, а подмножество ситуаций, для которых значения всех внутренних параметров и внешних воздействий находятся в пределах заданных ограничений, назовем *дискретной ситуацией*, в которой находится объект [3]. Таким образом, каждая модель дискретной ситуации, в которой находится объект, может быть охарактеризована перечнем ограничений, в которых находятся параметры, характеризующие внутреннее состояние объекта, и перечнем параметров, характеризующих внешнее воздействие, а также перечнем ограничений на указанные параметры. Изменения параметров внутри заданных пределов не изменяют дискретную ситуацию, в которой находится объект. Выход хотя бы одного из параметров за рассматриваемые предельные значения и переход к другим предельным значениям приводят к изменению дискретной ситуации. Введение понятий дискретного состояния и дискретной ситуации позволяет значительно сократить объем информации, необходимой для их описания. С точки зрения моделирования главное состоит в том, что подобная дискретизация позволяет перейти от моделирования во времени к событийному моделированию. Событийное моделирование всегда значительно сокращает объемы требуемых вычислительных ресурсов.

Система объектов

Два или несколько объектов могут оказывать взаимные воздействия друг на друга. В этом случае они образуют более сложный объект, который мы назовем *системой объектов*. Число состояний системы равно произведению чисел, соответствующих каждому из объектов. Каналы, по которым объекты оказывают взаимные влияния, назовем *связями*. В общем случае два объекта связаны двусторонними связями, однако связи могут быть и односторонними, если воздействием между объектами, т. е. воздействием одного объекта на другой, можно пренебречь.

Один и тот же объект может находиться под воздействием различных видов энергии (тепловая энергия электромагнитных колебаний, механическая энергия), существует великое множество различных форм проявления энергии, однако все они являются средством взаимодействия объектов. Таким образом, мы можем говорить о информационно-энергетических воздействиях. Совокупность информационно-энергетических воздействий образует *информационно-энергетическое поле*, которое может излучаться или восприниматься объектом. Именно информационно-энергетическое поле является источником воздействий, причем энергетическое поле является носителем информационного поля. Все объекты, образующие систему, связаны между собой информационно-энергетическими связями, и чем эти связи прочнее, тем устойчивее становится система по отношению к внешним воздействиям. Если система состоит из большого числа равновеликих и равнозначных объектов, то связи между ними становятся достаточно слабыми, поскольку каждый объект оказывает на другой объект весьма незначительно влияние. Примером такой системы может служить рой комаров, в котором каждый комар совершает свое собственное, практически независимое от других комаров движение. Более устойчивой в указанном смысле окажется система, образующая рой пчел, следующий за своей маткой. Сила инстинкта заставляет пчел следовать за своей маткой, не давая рою разлетаться даже при достаточно сильном ветре. Другой моделью системы является, например, наша Солнечная система, где силы тяготения удерживают планеты от их схода со своих орбит. В системах, в которых объектами взаимоотношений являются люди, также действуют свои определенные информационно-энергетические связи.

Связи

Все материальные и информационно-энергетические ресурсы воздействуют на рассматриваемые объекты, образуя разнородные потоки, которые мы назовем *виртуальными каналами*. Направление движения ресурса всегда происходит от источника, где этот ресурс имеется, к получателю, которому указанного ресурса не хватает. Движущей силой перемещения ресурса являются интересы [1, 4]. Интерес всегда относится к какому-либо ресурсу, а его значение – к количеству указанного ресурса, измеренному в единицах этого ресурса. Знак интереса считается положительным, если он направлен на получение ресурса, и отрицательным, если объект стремится отдать свой ресурс, т. е. стремится стать источником ресурса, при этом производная изменения количества ресурса в объекте имеет отрицательное значение. Образованию виртуального канала между источником и получателем предшествует информационный обмен между ними, т. е. установление договорных отношений. Аналогичные действия предусматривает семиуровневая модель в отрасли связи. Это позволяет детализировать структуру процесса обмена ресурсами по уровням обмена.

Множество разноименных однонаправленных виртуальных каналов между двумя объектами – источником и получателем – образуют *виртуальный путь*. Два противоположно направленных виртуальных пути между двумя объектами представляют связь между этими объектами. Просматривается аналогия между сетями передачи данных и сетями передачи ресурсов, где объекты являются узлами, а связи могут рассматриваться как линии передачи. Возникновению интереса соответствует заявка на установление соединения, а установление соединения соответствует возникновению виртуального канала. Подобная аналогия позволит применить к анализу процессов в рассматриваемых системах хорошо разработанные модели и методы анализа сетей связи.

Заключение

Все рассмотренные элементы и соответствующие связи между ними могут послужить основой создания концептуальной модели развития современных корпоративных взаимоотношений [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Переслегин С.* Новые кадры будущего. – М.: АСТ, АСТ Москва, Terra Fantastica, 2009.
2. *Белобоков А.Я., Козенков А.Н., Лихтциндер Б.Я.* Будущее корпорации: партнерство владельцев и трудового коллектива в условиях аренды трудовым коллективом основных средств производства // Век качества. – № 4. – 2013. – С. 28–34.
3. *Виттих В.А.* Введение в теорию интересубъективного управления. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – 64 с.
4. *Зеланд В.* Трансфертинг реальности: пространство вариантов. – СПб.: ВЕСЬ, 2004.
5. *Белобоков А.Я., Иванова Л.Б., Лихтциндер Б.Я.* Подход к созданию имитационной модели преобразования корпораций к партнерству владельцев и трудового коллектива // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 91–94.

Статья поступила в редакцию 5 октября 2014 г.

OBJECTS AS ELEMENTS FORMING A CONCEPTUAL SIMULATION OF COMPOSITE SYSTEMS

L.B. Ivanova

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, Lev Tolstoy st., Samara, 443010, Russia

The simulation of a development process of such composite systems as corporate relationship is allied to the necessarily description of those components which form the conceptual model as well as their further affiliating. The creation of a mathematical model which is suitable for simulation of any composite system always precedes its conceptual model development. The objects are considered as elements forming a conceptual model of composite systems in this article. The definitions of these components and principal relations between them are defined. The concepts «point state» and «system of objects» were reviewed. The goal is to determine those objects' features which strongly influence the conceptual models development of composite systems.

Keywords: conceptual model, objects, elements, links, composite systems.

УДК 681.5:621.315

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

В.Н. Митрошин

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Традиционно используемые для управления процессами изготовления кабелей связи локальные системы стабилизации режимных параметров технологического оборудования и контролируемых первичных параметров кабеля, реализованные с использованием ПИД-регуляторов, не приносят ожидаемого положительного результата. Предлагается для повышения эффективности управления производством проводных кабелей связи использовать методы и средства систем усовершенствованного управления технологическими процессами на основе прогнозирующих моделей для обеспечения требуемого качества кабеля как канала связи.

Ключевые слова: системы усовершенствованного управления, прогнозирующие модели, производство кабелей.

Повышение эффективности управления технологическими процессами – задача, постоянно решаемая разработчиками систем управления, но, строго говоря, не имеющая окончательного решения. Особенно это касается технологических объектов, обладающих признаками сложных систем и являющихся непрерывными, многооперационными технологическими процессами, управление которыми должно осуществляться в реальном времени.

Методы, традиционно используемые для управления технологическими процессами изготовления кабелей связи (КС) и основанные на применении для стабилизации режимных параметров технологического оборудования и контролируемых первичных параметров изготавливаемой продукции набора не связанных между собой локальных систем регулирования, реализованных с использованием ПИД-регуляторов, зачастую не приносят ожидаемого положительного результата [1, 3]. Это объясняется, в частности, тем, что объект управления, например одночервячный экструдер, является многомерным, а при изготовлении некоторых видов кабелей, к примеру с пенопластовой изоляцией, чувствительность первичных параметров кабеля (погонной емкости и диаметра изоляции) к вариациям режимных параметров технологического оборудования высока.

С другой стороны, традиционно используемые упрощенные модели объектов управления с сосредоточенными параметрами не отвечают основным физическим особенностям управляемых процессов – не учитывают пространственной распределенности регулируемых величин, а потому не удовлетворяют потребностям систем управления [2].

Процессы изготовления проводных КС в полной мере обладают признаками сложных систем, являются непрерывными многооперационными технологическими процессами. Их главной особенностью является то, что основной эксплуатационный параметр кабеля как будущего канала связи может быть измерен

только после его изготовления. Обеспечить гарантированное достижение требуемого качества изготавливаемого кабеля, тем более с учетом его частотных свойств (полосы пропускания КС), с помощью независимых локальных систем регулирования практически невозможно [2].

Кроме улучшения качества управления в традиционном смысле, например уменьшения нерегулярностей контролируемых параметров, улучшения динамических характеристик систем регулирования, возникают задачи оптимизации технико-экономических показателей работы оборудования: экономия энергозатрат, используемых при изготовлении кабелей дорогостоящих материалов, управление нестационарными режимами работы оборудования и т. п. Обеспечить решение этих задач традиционными подходами не представляется возможным.

Кроме того, как отмечается в [3], в традиционных системах управления отсутствуют модели, отражающие зависимость эксплуатационных показателей качества изготавливаемой продукции (например, при изготовлении КС – нерегулярности волнового сопротивления кабеля) от измеряемых переменных технологического процесса. В литературе эти модели называются виртуальными анализаторами качества [5]. И даже когда такие модели имелись, они не были включены в контур многомерного управления, т. е. фактически отсутствовали средства прямого воздействия на эксплуатационные показатели качества изготавливаемой продукции.

Поэтому для управления техпроцессами производства КС должны использоваться новые подходы. Предлагается для управления изготовлением КС применять методы и средства усовершенствованного управления технологическими процессами. Покажем, что использование АРС-систем для управления технологическими процессами производства КС является эффективным и экономически целесообразным решением.

Системы усовершенствованного управления (АРС-системы, от *Advanced Process Control*) начали широко использоваться с 1990-х годов [3]. Целями разработки АРС-систем являются улучшение качества управления режимными параметрами работы оборудования и показателями качества продукции, а также оптимизация в реальном масштабе времени технико-экономических показателей автоматизируемого процесса на основе использования прогнозирующей модели этого процесса при минимальном вмешательстве оператора [3, 4]. Важной особенностью данных систем является тот факт, что речь идет именно об автоматическом управлении в замкнутом контуре, а не об использовании АРС-системы в качестве «советчика оператору».

Правда, в настоящее время подобные системы применяются в основном в нефте- и газодобыче, нефте- и газопереработке, химической и нефтехимической промышленности, тепловой энергетике, целлюлозно-бумажной промышленности, фармацевтике, пищевой промышленности [3, 4]. Примеров внедрения АРС-систем в кабельной промышленности в технической литературе к настоящему моменту не описано.

Какую основную задачу должна решать система усовершенствованного управления технологическим процессом?

Это повышение технико-экономической эффективности работы технологической установки за счет повышения ее производительности, увеличения выхода более качественной продукции, снижения затрат – главным образом за счет энер-

госбережения, уменьшения потерь при смене режимов работы оборудования и т. п.

За счет чего достигается повышение эффективности работы АРС-систем? Более эффективная работа АРС-систем в сравнении с традиционными системами регулирования обусловлена использованием прогнозирующего управления на основе применения виртуальных анализаторов (ВА) качества выпускаемой продукции [5]. ВА представляют собой математические модели, описывающие зависимость показателя качества выпускаемой продукции от непосредственно измеряемых параметров технологического процесса.

Как отмечается в [3], наибольший эффект от использования АРС-систем достигается не столько за счет качественного управления, что безусловно является необходимым условием, сколько за счет оптимизации работы технологического оборудования по экономическому критерию.

Применительно к автоматизации технологических процессов производства КС можно отметить следующие полученные с участием автора результаты.

Решение задачи оптимального управления охлаждением кабельной жилы в процессе ее изготовления на основе использования аналитической модели процесса, с учетом распределенности управляемой величины по пространственным координатам, позволило оптимизировать работу участка охлаждения экструзионной линии по технико-экономическим критериям и получить значительную экономию энергозатрат на подогрев охлаждающей воды и высвобождение производственных площадей [6].

Использование моделей зоны дозирования одночервячного экструдера как объекта с распределенными параметрами по температуре расплава полимера [7] и пульсациям колебания давления расплава на выходе экструдера [8] является основой для решения средствами АРС задачи оптимизации массовой производительности расплава полимера на выходе экструдера с целью стабилизации формируемого диаметра изоляции и, соответственно, минимизации нерегулярностей волнового сопротивления изготавливаемого кабеля [2]. В данном случае необходимо отметить использование «строгих», основанных на базовых физических закономерностях автоматизируемых процессов, моделей, в отличие от традиционно используемых в АРС-системах упрощенных линейных моделей.

Предлагаемые подходы, основанные на использовании методов и средств АРС-систем, позволяют существенно повысить эффективность управления изготовлением КС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Использование системного подхода при автоматизации непрерывных технологических процессов кабельного производства // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7(28). – С. 26–31.
2. Митрошин В.Н. Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37–44.
3. Захаркин М.А., Кнеллер Д.В. Применение методов и средств усовершенствованного управления технологическими процессами (АРС) // Датчики и системы. – 2010. – № 10. – С. 57–71.
4. Веревкин А.П. Системотехника «продвинутого» управления в нефтепереработке // Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа. II Всеросс. науч.-практ. интернет-конф.: Сб. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 5–19.
5. Бахтадзе Н.Н. Виртуальные анализаторы (идентификационный подход) // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 11. – С. 3–24.
6. Митрошин В.Н., Лойко А.Ю., Митрошин Ю.В. Система оптимального программного управления процессом охлаждения полимерной кабельной изоляции как объектом с распределенными

- параметрами // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2009. – № 1(23). – С. 47 – 53.
7. *Митрошин В.Н., Нечаев А.С.* Структурное и численное моделирование распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2(38). – С. 26–32.
 8. *Митрошин В.Н.* Регулирование давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера при пульсирующем градиенте давления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 1(29). – С. 39–44.

Статья поступила в редакцию 1 октября 2014 г.

APPLICATION OF ADVANCED PROCESS CONTROL SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF TELECOMMUNICATION CABLES

V.N. Mitroshin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Local systems for stabilization of production equipment operation parameters and controlled initial cable parameters which are traditionally used to control the manufacturing processes of telecommunication cables and are implemented with the use of PID controller do not give the expected positive result. In order to improve the control efficiency, the paper proposes to use the methods and means of advanced process control systems based on the predication model to provide the required quality of the telecommunication cable.

Keywords: *advanced process control, predictive models, cable manufacture.*

УДК 681.514

ВАРИАНТ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА***В.Г. Щетинин***Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: schetinin_v@mail.ru

Проанализированы перспектива и технические возможности применения установок индукционного нагрева для различных технических задач. Рассмотрены проблемы, возникающие при синтезе структурных схем подобных установок. Показана возможность использования общих моделей для различных технологических процессов преобразования электрической энергии, и, как следствие, возможность применения приемов и структур, отработанных для электромеханических систем частотно-регулируемого электропривода для решения отдельных задач управления процессом индукционного нагрева. Рассмотрена структура системы управления индукционным нагревом металла с наблюдателем, восстанавливающим значение температуры в зоне нагрева. Применение предлагаемого подхода наиболее целесообразно для процессов термической обработки маломерных деталей либо для крупносерийного производства.

Ключевые слова: индукционный нагрев, наблюдатель состояния, температура в зоне тепловыделения

Применение индукционных установок для нагрева токопроводящих сред является в настоящее время одним из самых перспективных технических решений. Достоинством технологических схем, использующих технологию индукционного нагрева является, например, возможность реализации непосредственно, перед обработкой давлением (прессованием), или, как в установках нагрева нефти – совмещение нагрева с транспортировкой перемешиванием, другим достоинством является хорошая управляемость процесса и реализация многокритериальной оптимизации – достижение высоких результатов для совокупности выходных параметров (быстродействие, расход энергии, распределение температуры и ряда других).

Разработка алгоритмов и аппаратуры управления для индукционного нагрева посвящено большое количество работ [1,2]. Полученные результаты позволяют удовлетворить самые высокие требования. Но, даже в такой ситуации, узким местом остается реализация измерительной части установки, особенно для установок крупносерийного производства. Измерение температур порядка нескольких сотен градусов чаще всего предполагает применение в качестве датчиков термопар, зачеканиваемых на деталь, либо пирометров, обеспечивающих бесконтактное измерение, но предъявляющих дополнительные требования к базированию датчика и качеству атмосферы.

Конфигурация электрической схемы замещения технологического процесса индукционного нагрева, отражающей основные энергетические процессы, чаще

всего, представляется в виде Г-образной, широко используемой при рассмотрении энергетических процессов в электроустройствах, принцип действия которых связан с взаимными преобразованиями энергии электрической и магнитной составляющих поля. К таким устройствам относятся электрические трансформаторы и асинхронные электрические машины. Общим для всех этих установок является наличие реверсивного преобразования электрической энергии и энергии магнитного поля [3]. При этом выделяется цепь намагничивания, обладающая импедансом Z_μ , параметры, моделирующие поток рассеяния и потерь в элементах конструкции установки – Z_s , и цепь преобразования (использования) энергии – Z_r .

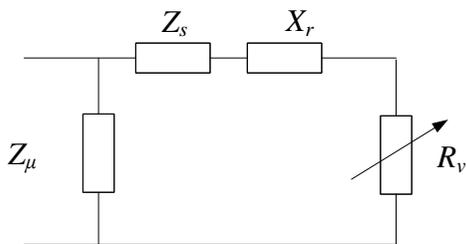


Рис. 1. Схема замещения

Тогда имеем:

$$Z_\mu = R_\mu + X_\mu$$

$$Z_s = R_s + X_s$$

$$Z_r = R_v + X_r,$$

где R_v – нагрузка вторичной (выходной) цепи, аналог физических процессов преобразования электрической энергии в иные – тепло в индукционной нагревательной установке, механическое движение в асинхронном двигателе, нагрузка (в рассматриваемом примере – активная) трансформатора, а остальные реактивные и активные компоненты – соответствующие модельные представления магнитных потоков и потерь в магнитной цепи и обмотке индуктора.

Для одного из представителей рассмотренного семейства – асинхронной машины разработаны эффективные алгоритмы параметрической идентификации на основании измерения мгновенных значений тока и напряжения на входе установки [3,4]. Точность идентификации параметров модели, в том числе – активного сопротивления ротора, достигает 10^{-4} , что в дальнейшем позволяет реализовать системы управления, обеспечивающие в диапазоне регулирования порядка 1000 статическую ошибку не более 5...10%. Для получения таких результатов, например, используется структура системы управления с наблюдателем состояния Матсусе [4].

Применение подобного подхода к синтезу структуры системы управления процессом индукционного нагрева позволяет реализовать её как систему с наблюдателем состояния, восстанавливающим неконтролируемую координату – температуру в зоне нагрева. Учитывая, что контур вихревых токов при индукционном нагреве моделируется Z_r , а тепловыделение моделируется активным сопротивлением R_v , для рассматриваемой ситуации представляется возможным, используя методику [2], восстанавливать действительное значение активного

сопротивления контура вихревых токов, моделируемого некоторым короткозамкнутым витком. Так как температурная зависимость его известна заранее – $R_t = R_{t_0} (1 + \beta_t(t^0 - t_0^0))$, то не представляет сложности получить (восстановить) значение температуры в зоне тепловыделения. Дальнейшая процедура расчета картины температурного распределения по глубине является классической и её решению посвящено большое количество работ, например [1,2].

Применение рассматриваемой структуры системы управления обеспечивает бесконтактное получение высокоточной информации о температуре в зоне тепловыделения индукционной установки и наиболее целесообразно для процессов термической обработки маломерных деталей либо для крупносерийного производства, когда применение термопар неудобно по технологическим соображениям, а радиационные методы не подходят по точностным показателям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рапопорт Э.Я., Плишвецва Ю.Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева – М.: Наука, 2012. – 309 с.
2. Рапопорт Э.Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металла – М.: Metallurgy, 1993. – 279 с.
3. Виноградов А., Сибирцев А., Колодин И. Адаптивно-векторная система упарвления бездатчикового асинхронного электропривода серии ЭПВ. Силовая Электроника, 2006, №3, с.с. 50...55.
4. Пересада С.М., Бовкунович В.С., Ковбаса С.Н. Адаптивный наблюдатель Матсусе: новый синтез, гарантирующий асимптотичность оценивания вектора потокосцепления и активного сопротивления ротора асинхронного двигателя - Технічна електродинаміка. 2010. №.3, с.с. 28-3

Статья поступила в редакцию 25 октября 2014 г.

A VARIANT OF THE STRUCTURE OF INDUCTION HEATING CONTROL SYSTEM

V.G. Shchetinin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The perspective and the technical capabilities of application of induction heating facilities for several kind of technical problems are analyzed. The problems that arise in design of such units structures are considered. Possibilities for the use of general models for different technological processes of electrical energy reformation are presented, and as consequence the possibilities for the use of methods and structures tested on electromechanical systems of variable-frequency drive for solving several induction heating control problems are shown. Consider a case of control system of the metal induction heating with observer that reconstructs temperature value at the heating zone. The application of this method is reasonable for heat treatment of small-sized details or for large-scale manufacture.

Keywords: *induction heating, condition observer, heat zone temperature*

Vladimir G. Shchetinin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

УДК 536.2:621.746.6

**АНАЛИЗ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА
ПО ТАБЛИЧНЫМ ДАННЫМ*****Е.А. Якубович***Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: ensave@samgtu.ru

Показаны возможности анализа процесса затвердевания непрерывного слитка с использованием приближенных моделей регрессионного типа, полученных по табличным данным о режимах непрерывного литья алюминиевых сплавов. В качестве определяющих характеристик процесса использованы глубина жидкометаллической лунки, размер двухфазной зоны и температура поверхности слитка в зоне охлаждения. Показано, что технологически обоснованные значения глубины лунки и размера двухфазной зоны в центре слитка могут быть достигнуты для крупногабаритных слитков за счет сужения пояса интенсивного водяного охлаждения. Приведенные расчетные зависимости позволяют осуществить количественную оценку совместного влияния скорости литья и интенсивности охлаждения на прогнозируемые значения глубины лунки и размера двухфазной зоны.

Ключевые слова: *приближенные модели, непрерывный слиток, затвердевание, алюминиевые сплавы.*

При разработке прогрессивной технологии непрерывного литья слитков из алюминиевых сплавов одной из актуальных задач является исследование и анализ взаимосвязи технологических параметров, определяющих процесс затвердевания [1].

Реальная сложность и многофакторность процесса формирования слитка на машинах непрерывного литья делает недостаточно эффективным в технологическом смысле применение для этих целей детерминированных математических моделей. Эффективный путь преодоления указанных трудностей состоит в разработке и применении методов получения приближенных моделей регрессионного типа с использованием представленных в табличном виде результатов численных и экспериментальных исследований, дающих исходный статистический материал для анализа процесса путем построения математических моделей [2, 3]. Появляющиеся здесь особенности связаны прежде всего со сложностью объекта и необходимостью получения удовлетворительной точности его описания при неизвестной заранее структуре модели. Табличные данные о режимах непрерывного литья, характеристиках процесса затвердевания и качества слитков могут быть в общем случае использованы для синтеза моделей по результатам численных исследований температурного поля слитка, устанавливающих зависимость определяющих характеристик процесса (глубина лунки, размер двухфазной зоны, температура поверхности в заданной точке слитка и др.) и иных важных функционалов температурного поля от внешних технологических и режимных параметров [4].

Ефим Абрамович Якубович (к.т.н., доц.), профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

В работах [4, 5] выполнен синтез регрессионных моделей по результатам численного исследования затвердевания плоских слитков деформируемых сплавов типа Д16 и В95 толщиной 300–600 мм [6] для прогнозирования и анализа упомянутых характеристик процесса затвердевания в определенной области изменения внешних управляющих параметров (размер слитка, скорость литья, интенсивность охлаждения) с учетом некоторых конструктивных и технологических особенностей реальной установки для непрерывного литья.

Полученные зависимости могут быть представлены в виде

$$h_l = 1,430 \cdot 10^{-4} v b^2 + \frac{1439 z^*}{b} - \frac{5,794 z^* \sqrt{\alpha^*}}{b^{3/2}}, \quad (1)$$

$$h_s = 1,875 \cdot 10^{-4} v b^2 + \frac{14,32 z^*}{b} + 8,649 \frac{\sqrt{v z^*}}{630 - t^*} + \frac{232,4 z^*}{630 - t^*} + \frac{2,188 \cdot 10^{-4} z^*}{b \alpha^*}, \quad (2)$$

$$\delta = 8,651 \cdot 10^{-5} v b^2 + \frac{1,298 \cdot 10^{20} (z^*)^2}{v^3 b^7 (630 - t^*)} + \frac{2,244 \cdot 10^{-11} v^4 b^6}{z^* \alpha^* (630 - t^*)} + \frac{1559 v (z^*)^2}{\alpha^* (630 - t^*)^2} + \frac{8,464 \cdot 10^9 z^*}{b^2 \alpha^* (630 - t^*)} - \frac{8,864 \cdot 10^{-6} v b (z^*)^2}{630 - t^*}, \quad (3)$$

$$t_n(z^*) = 27,52 + \frac{3,900 \cdot 10^7 \sqrt{v}}{z^* \alpha^*} - \frac{1,608 \cdot 10^7 v b^2}{(z^* \alpha^*)^2} - \frac{1,431 \cdot 10^{-5} z^* \alpha^*}{\sqrt{v}}. \quad (4)$$

Входящие в формулы величины означают: h_l , h_s – глубина лунки, соответствующая изотермам ликвидус и солидус; δ – максимальный вертикальный размер двухфазной зоны; $t_n(z^*)$ – температура поверхности в сечении z^* , соответствующем максимальному значению коэффициента теплоотдачи на поверхности слитка α^* ; b – полутолщина слитка; v – скорость литья и имеют следующие размерности: h_l , h_s , δ , z^* – мм; $t_n(z^*)$ – °С; v – мм/мин; α^* – Вт/(м²К).

Ниже приведены некоторые результаты применения моделей (1) – (4) для анализа затвердевания основных в производстве плоских слитков толщиной 300–400–600 мм, широко используемых для получения листовых полуфабрикатов различного назначения. В качестве исходных технологических требований учитываются ограничения на скорость литья слитков указанных типоразмеров соответственно 60–90; 40–60; 25–40 мм/мин, а также определяемые особенностями конструкции кристаллизатора значения $z^* = (160–300)$ мм, $t_n(z^*) = (50–200)$ °С, $\alpha^* = (1500–25000)$ Вт/(м²К).

Для рассматриваемой ситуации существенными являются два ориентира, достижение которых является технологически обоснованным по результатам промышленной реализации непрерывного литья крупногабаритных слитков:

- обеспечение минимальных значений h_c и δ для формирования достаточно плотной, беспористой структуры центральной зоны слитка;
- обеспечение относительно высокой температуры поверхности для снижения разности скоростей охлаждения центральных и поверхностных зон с целью снижения вероятности трещинообразования.

Для заданных на уровне технологических значений v и α^* на рис. 1 приведены зависимости h_s , δ и $t_n(z^*)$ от z^* (толщина слитка 400 мм).

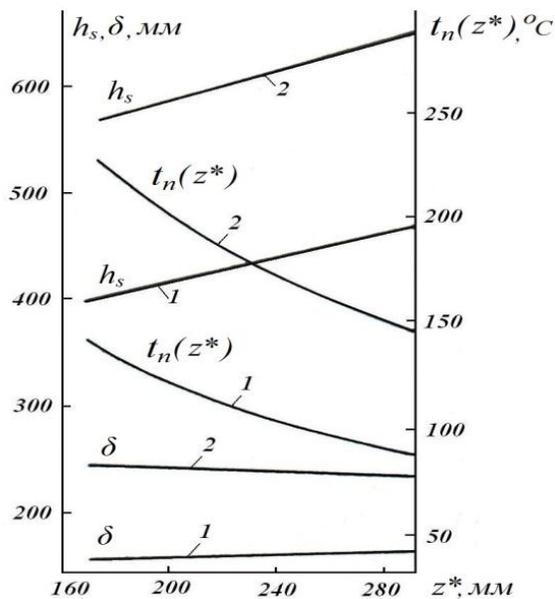


Рис. 1. Зависимости характеристик процесса затвердевания h_s , δ и температуры поверхности $t_n(z^*)$ от параметра z^*

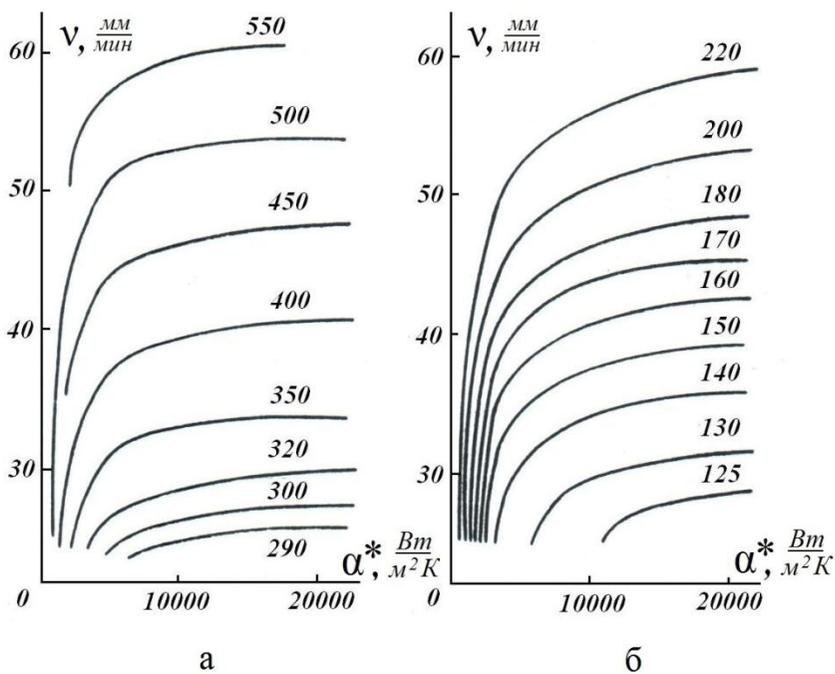


Рис. 2. Изолинии h_s (а) и δ (б) в плоскости (v, α^*) при значениях параметров $z^* = 170 \text{ мм}, t^* = 50^{\circ}C$. Цифры у кривых означают соответственно h_s и δ , мм:

$$1 - v = 40 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}, \alpha^* = 12000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}; 2 - v = 60 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}, \alpha^* = 8000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Из анализа кривых следует, что уменьшением z^* , т. е. приближением точки максимального значения α^* к нижнему срезу кристаллизатора, можно обеспечить одновременный учет обоих требований. Это соответствует реальной тенденции в проектировании конструкций систем охлаждения крупногабаритных слитков, выражающейся в сужении пояса интенсивного охлаждения.

Дальнейшие расчеты, результаты которых для слитка толщиной 400 мм приведены на рис. 2, выполнены для $z^* = 170$ мм, что близко к действительному значению этого параметра в реальных системах охлаждения.

Здесь представлены изолинии глубины лунки по солидусу h_s и максимального размера двухфазной зоны δ в плоскости (v, α^*) . Они предназначены для количественной оценки совместного влияния скорости литья v и интенсивности охлаждения слитка α^* на прогнозируемые значения глубины лунки h_s и размера двухфазной зоны δ . Это позволяет выбрать наиболее целесообразные пределы назначения скорости литья v для конкретных конструкций систем охлаждения, характеризующихся собственными значениями α^* .

Анализируя вид представленных кривых, можно заключить, что режимы литья, обеспечивающие минимальные значения h_s и δ , должны соответствовать пониженным скоростям литья v и относительно большим значениям $\alpha^* = (12000-16000)$ Вт/м²К. Однако такие режимы технологически не являются рациональными, т. к. снижают производительность процесса и труднодостижимы в существующих системах струйного охлаждения слитков. Кроме того, при этом невозможно приблизиться к выполнению требования о необходимости обеспечить относительно высокую температуру поверхности слитка, т. к. для заданного режима охлаждения (т.е. $\alpha^* = \text{const}$) уменьшение v стимулирует ее снижение.

Полученная по результатам расчетов информация используется для обоснования технических требований к системам охлаждения и регулирования скорости литья, которыми оснащаются установки для непрерывного литья плоских слитков алюминиевых сплавов, а также для синтеза основных алгоритмов контроля и управления процессом.

Дальнейшие перспективы развиваемого подхода определяются прежде всего ориентацией на анализ тенденций изменения режимных параметров в их взаимосвязи при одновременном определении вида и содержания экспериментальных исследований, которые необходимо осуществить в производственных условиях для оценки согласованных с реальными возможностями машины непрерывного литья рациональных значений v и α^* .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепок Г.В., Якубович Е.А. Совершенствование технологии непрерывного литья слитков деформируемых алюминиевых сплавов // Высокие технологии в машиностроении: Мат-лы Всеросс. науч.-техн. интернет-конф. 21–25 окт. 2014 г., Самара, СамГТУ. – С. 111-112.
2. Клявинь Я.Я., Клявиня И.Я., Позняк А.А. Методика синтеза регрессионных моделей на основе данных о влиянии параметров литья на критерии качества // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. науки. – 1982. – № 1. – С. 65-71.
3. Клявинь Я.Я., Клявиня И.Я. Метод прямого моделирования объекта по табличным данным // Препринт Ин-та физики АН ЛатвССР. – Рига, 1983. – 38 с.

4. *Клявинь Я.Я., Клявиня И.Я., Брока М.Э., Якубович Е.А.* Синтез регрессионных моделей по результатам численного исследования температурного поля слитка // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. науки. – 1982. – № 6. – С. 76-84.
5. *Якубович Е.А.* Приближенные модели регрессионного типа для анализа затвердевания непрерывных слитков алюминиевых сплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 222-224.
6. *Брока М.Э., Клявинь Я.Я., Шадрин Г.Г., Якубович Е.А.* Численное исследование затвердевания плоских слитков из высоколегированных алюминиевых сплавов при непрерывном литье // Цветные металлы. – 1986. – № 4. – С. 75-77.

Статья поступила в редакцию 5 октября 2014 г.

ANALYSIS OF THE CONTINUOUS CASTING INGOT SOLIDIFICATION USING TABULAR DATA

E.A. Yakubovich

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The paper deals with the technique of approximate mathematical models production based on the data of temperature field in solidifying ingot. The dependence of the effect of casting velocity and cooling regime parameters upon the most important ingot solidification characteristics were obtained in the case of Al alloys continuous casting. The temperature field in ingots was determined as a result of numerical study but the models were obtained in the terms of the elementary function sums with coefficients. The results of application of the models have been presented.

Keywords: *approximate models, continuous ingot, solidification, aluminium alloys.*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 7 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 3-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Требования к оформлению статей находятся на сайте университета

www.samgtu.ru → Деятельность → Научная → Вестник СамГТУ →
→ Серия «Технические науки».

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. СамГТУ. Корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова

(e-mail: vest_teh@samgtu.ru)

Редколлегия журнала

