

Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВ, ТЕХНОЛОГИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН,
ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ**

**Материалы
девятой международной научно-технической конференции**

18 – 19 марта 2014 г.

**Вологда
2014**

УДК 66.01.001.57(075.8)
ББК 32.96
А 18

Ответственный редактор:
В.А. Раков, кандидат технических наук, доцент,
Вологодский государственный университет

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Вологодского государственного университета

А 18 Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы девятой международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГУ, 2014. - 251 с.

ISBN 978-5-87851-522-1

Представлены материалы по различным аспектам и видам автоматизации машиностроения и металлургии, в том числе по комплексной автоматизации проектирования и изготовления изделий, автоматизации технологических процессов сборки. Значительное внимание авторами уделено особенностям проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства, математическому моделированию в технологических системах, автоматизации проектирования технологических процессов и управлению техническими объектами и процессами.

Приведены результаты исследований в области математического моделирования, анализа и синтеза высокоэффективных теплообменных систем с оптимальными удельными расходами топливно-энергетических ресурсов и конструкционных материалов. Представлены решения практических задач реконструкции и проектирования оптимальных теплообменных систем для машиностроительной, металлургической, теплотехнической и других отраслей промышленности.

Группа докладов посвящена взаимосвязи механических и экономических показателей автоматизированных производств, теории производительности труда и машин, а также вопросам надежности и применения методов контроля и диагностики.

Материалы конференции предназначены для научных и инженерно-технических работников различных отраслей промышленности, учебных и других учреждений и могут быть полезны студентам вузов.

УДК 66.01.001.57(075.8)
ББК 32.96

ISBN 978-5-87851-522-1

© ВоГУ, 2014

Организационный комитет конференции

<i>Председатель</i>	Леонид Иванович СОКОЛОВ , доктор технических наук, профессор, ректор Вологодского государственного университета
<i>Заместители председателя</i>	Юрий Романович ОСИПОВ , доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕ, МААНОИ и МАНЭБ, Вологодский государственный университет Вячеслав Александрович РАКОВ , кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета
<i>Ученый секретарь</i>	Александр Владимирович СТАРОСТИН , кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета
<i>Технический секретарь</i>	Антон Александрович СИНИЦЫН , кандидат технических наук, начальник Отдела интеллектуальной собственности и научно-технической информации Вологодского государственного университета

Члены оргкомитета:

- Александров И.К.**, д-р техн. наук, профессор, Вологодский государственный университет
Аншелес В.Р., д-р техн. наук, профессор, почетный химик РФ, Череповецкий государственный университет
Ахремчик О.Л., д-р техн. наук, профессор, Тверской государственный технический университет
Бабарушкин В.А., канд. техн. наук, доцент декан электроэнергетического факультета, Вологодский государственный университет
Богомолов А.А., канд. техн. наук, доцент, Вологодский государственный университет
Булавин В.Ф., канд. техн. наук, доцент, Вологодский государственный университет
Булавина Т.Г., канд. техн. наук, доцент, Вологодский государственный университет
Веселков В.И., д-р техн. наук, Швеция; д-р техн. наук, Россия, Вологодский государственный университет
Гарбер Э.А., заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, профессор, Череповецкий государственный университет
Горбунов В.А., д-р физ.-мат. наук, профессор, Вологодский государственный университет
Зефиоров И.В., канд. техн. наук, доцент, Вологодская молочнохозяйственная академия
Карпов С.В., д-р техн. наук, профессор, директор Института энергетики и транспорта, Северный (Арктический) федеральный университет, г. Архангельск
Коростелев В.Ф., заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, Владимирский государственный университет
Пикалев О.Н., канд. техн. наук, доц., Вологодский государственный университет
Полетаев В.П., канд. техн. наук, доцент, первый проректор, Вологодский государственный университет
Синицын Н.Н., д-р техн. наук, профессор, Череповецкий государственный университет
Степанов А.С., канд. техн. наук, доц., Вологодский государственный университет
Суконщиков А.А., канд. техн. наук, доцент, Вологодский государственный университет
Фролов А.А., канд. техн. наук, доцент, декан факультета промышленного менеджмента и инновационных технологий, Вологодский государственный университет
Шаратинов А.Д., канд. техн. наук, Вологодский государственный университет
Шкарин Б.А., канд. техн. наук, доц., Вологодский государственный университет
Щекин С.М., канд. техн. наук, Вологодский государственный университет
Швецов А.Н., д-р техн. наук, профессор, Вологодский государственный университет
Шичков А.Н., засл. деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, д-р экон. наук, профессор, Вологодский государственный университет

Уважаемые читатели и авторы докладов!

Девятая международная конференция «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования» продолжает свою работу.

Основными направлениями, изложенными в докладах в этом году, стали исследования процессов теплообмена, повышение эффективности перерабатывающего оборудования, новые технологии ремонта промышленного оборудования, оптимизация процессов металлургического производства, применение новых методик расчета газодинамических, гидродинамических тепловых, электрических процессов и оборудования, оптимизация технологии обработки стали, ресурсосберегающие технологии, проблемы эксплуатации автомобильного транспорта, оптимизация процессов обработки деталей, оптимизация процессов управления производством, повышение надежности технических систем, автоматизация сборочных производств, автоматизация процессов проектирования деталей.

Результаты представленных в сборнике научно-практических достижений способствуют повышению эффективности машиностроения, металлургического, перерабатывающего производства.

Эффективность технологических процессов производства на сегодняшний день обусловлена необходимостью снижения себестоимости и повышения качества выпускаемой продукции и услуг. Стоит также отметить, что развивающийся потребительский рынок требует расширения ассортимента и увеличения объемов производства продукции, имеющей большой потенциал спроса. Это особенно актуально, когда предприятия работают в условиях открытого рынка, например в составе Таможенного союза или Всемирной торговой организации. Более технологически развитые и эффективно работающие компании в таких условиях обладают преимуществами. В связи с этим остро стоит вопрос поиска путей дальнейшего развития производства.

Такими путями могут быть рациональное использование топливо-энергетических ресурсов (нефти, газа, электроэнергии), освоение нового, более современного станочного оборудования и машин, использование автоматизированных систем контроля производственных процессов, применение более современного программного обеспечения для снижения затрат на проектирование продукции, а также использование современных высокоскоростных систем обработки, передачи и хранения информации.

Машиностроительная, металлургическая и другие отрасли промышленности с непрерывными технологическими процессами являются крупнейшими потребителями различных видов топливо-энергетических ресурсов. Это обусловлено тем, что в целом ряде производств используется оборудование, станки и установки, функционирование которых сопровождается выделением значительного количества теплоты. В связи с этим выявление способов вторичного использования тепла – это одно из главных направлений рационализации производства. Примером таких технических решений является улучшение теплоизоляционных свойств материалов, применение утилизаторов и экономайзеров тепла.

Большое количество используемого на предприятиях станочного оборудования выпущено еще в советское время и, несмотря на сильный износ, продолжает выполнять свою работу. Однако для организации производства продукции, отве-

чающей современным стандартам, необходимо обновление станочного парка высокотехнологичным, точным, высокопроизводительным оборудованием, что позволит снизить затраты энергии, времени и значительно повысить производительность и качество производимой продукции. Яркий тому пример – лазерная и абразивная резка металла, многошпиндельные металлообрабатывающие станки, многопильные деревообрабатывающие станки, частотно-регулируемые приводы и др.

Повышаются требования и в направлении автоматизации производства. Существующие технологии позволяют не только автоматизировать процесс проектирования изделий и их производство на предприятии, но и охватить уникальную, сложную систему взаимодействия и связей различных подразделений, таких как конструкторское бюро, инструментальное производство, производственные подразделения, различные службы обслуживания, а также функциональную деятельность предприятия: разработку, изготовление, продажу, обслуживание и утилизация продукции.

Примером объединения всех этих функций в одну общую систему управления предприятием является непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий (CALS-технология). Данный подход становится возможен за счет использования компьютерной техники и информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия. Приближение к такой технологии в ближайшие годы станет необходимым условием выживания промышленных предприятий при существующей жесткой конкуренции товаров на международных и национальных рынках. В то же время системный подход в организации производства требует единообразия и стандартизации в управлении, описании и интерпретации данных, технологической и конструкторской документации в масштабе всей системы от поставщика до потребителя, что требует отдельных научных исследований и значительных материальных затрат для целого ряда компаний.

Глобальный контроль над производственным процессом немыслим без мощных высокоскоростных систем обработки, передачи и хранения информации. В этой связи промышленное производство становится зависимым от информационных технологий, что ставит задачи применения новых знаний к существующим, в чем велика роль вузов в подготовке высококвалифицированных научных и инженерных кадров.

Обзор современных достижений в направлении автоматизации и энергосбережения необходим как для ученых, преподавателей и обучающихся для понимания текущего достижений науки и техники, так и для руководителей машиностроительных и металлургических предприятий, заинтересованных в развитии своего производства.

Оргкомитет благодарит всех участников из России и ближнего зарубежья за предоставленные доклады и активное содействие в организации и проведении конференции.

**Вячеслав Александрович Раков,
ответственный редактор,
заместитель председателя оргкомитета конференции,
кандидат технических наук, доцент.**

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОТОЧНО-АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГУММИРОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ю.М. Авдеев

*Россия, Вологодская государственная молочнохозяйственная
академия им. Н. В. Верещагина*

С.Ю. Осипов

Россия, Череповецкий государственный университет

С.А. Шлыков

Россия, Вологодский институт права и экономики ФСИН России

Модернизация линии по производству гуммировочных покрытий позволяет устранить ручные операции при их сборке и добиться стабильности и однородности параметров покрытия. Для этого необходимо разделить процесс нанесения адгезива на отдельные операции, проводимые на специализированном оборудовании, и разработать эффективные средства для контроля качества технологических операций.

Технологии современного производства требуют строгого соблюдения временных интервалов и физических параметров технологического процесса. В большинстве случаев реализуются сложные функции взаимодействия устройств, задающих данные параметры, с обрабатываемым изделием, поэтому задача поддержания необходимых установок и своевременного их изменения становится трудноразрешимой без средств автоматизации техпроцессов.

Объектом автоматизации является участок нанесения на резиновые полотна клея и его сушки (рис. 1). В состав данного участка входят шесть одинаковых линий, на каждой из которых наносятся три слоя клея. Слои подсушиваются при определенной температуре, причем в соответствии с технологией температуры в сушильных камерах различны [1]. Каждая линия включает подающие валы, имеющие привод с индивидуальной системой управления. Склеивание полотен между собой осуществляется с помощью прижимных валов. На выходе данный участок снабжен гильотинным ножом.

При разработке структурной схемы системы сушки в качестве отправной точки задаются параметры, подлежащие контролю и измерению, количество точек измерения каждого параметра, а также двухпозиционных объектов, которыми управляет контроллер, отслеживая данные в точках контроля [2].

Принято следующее количество каналов управления и контроля:

- 18 каналов управления нагревателями (36 сигнальных линий);
- 6 каналов системы привода подающих валов (12 сигнальных линий);

- 1 канал управления гильотинным ножом (одна сигнальная линия);
- 18 каналов информационно-частотных (от датчиков температуры):
- 18 каналов информационно-потенциальных (от датчиков наличия рабочего тела).

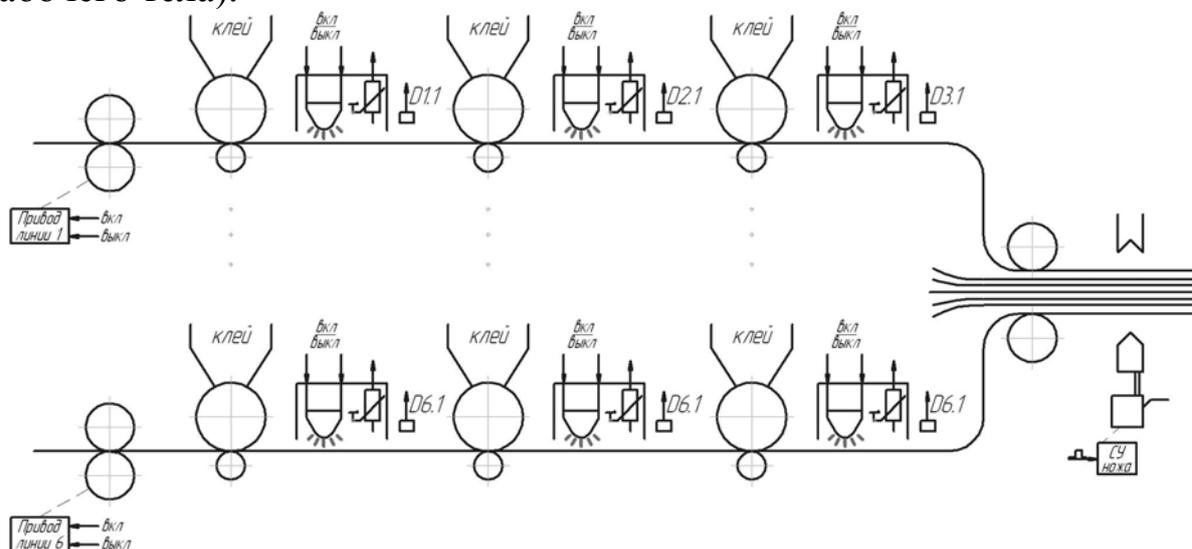


Рис. 1. Участок нанесения и сушки клея

Реализация контроля и управления технологическим процессом в проектируемой системе производится с помощью программного кода, хранимого в памяти программ. Гибкость технологии может обеспечиваться наращиванием аппаратных ресурсов и ветвлением программного обеспечения.

Так как система является опытным образцом, для организации памяти программ воспользовались внешним ПЗУ. По той же причине ввели внешнюю память данных.

Для измерения частоты информационных сигналов ввели внешний таймер, обеспечивающий измерение сразу по двум каналам. В связи с возможным несоответствием потенциальных сигналов ТТЛ-уровню требуется введение формирователей стандартного логического уровня. Ввиду ограниченной ширины физического интерфейса микроконтроллера для работы с полным набором сигналов вводятся мультиплексоры частотных и потенциальных сигналов соответственно [2].

Для возможности визуального контроля протекания процесса и упрощения работы с системой обслуживающего персонала в нее заложено применение клавиатуры и 8-разрядного дисплея. Для обеспечения их работы используется контроллер клавиатуры и индикации (ККИ).

Работа системы сушки разбита на три режима: 1) инициализация контроллера; 2) выход на технологический режим по температурному параметру; 3) рабочий цикл. Фрагмент алгоритма программы для управления системой сушки представлен на рисунке 2.

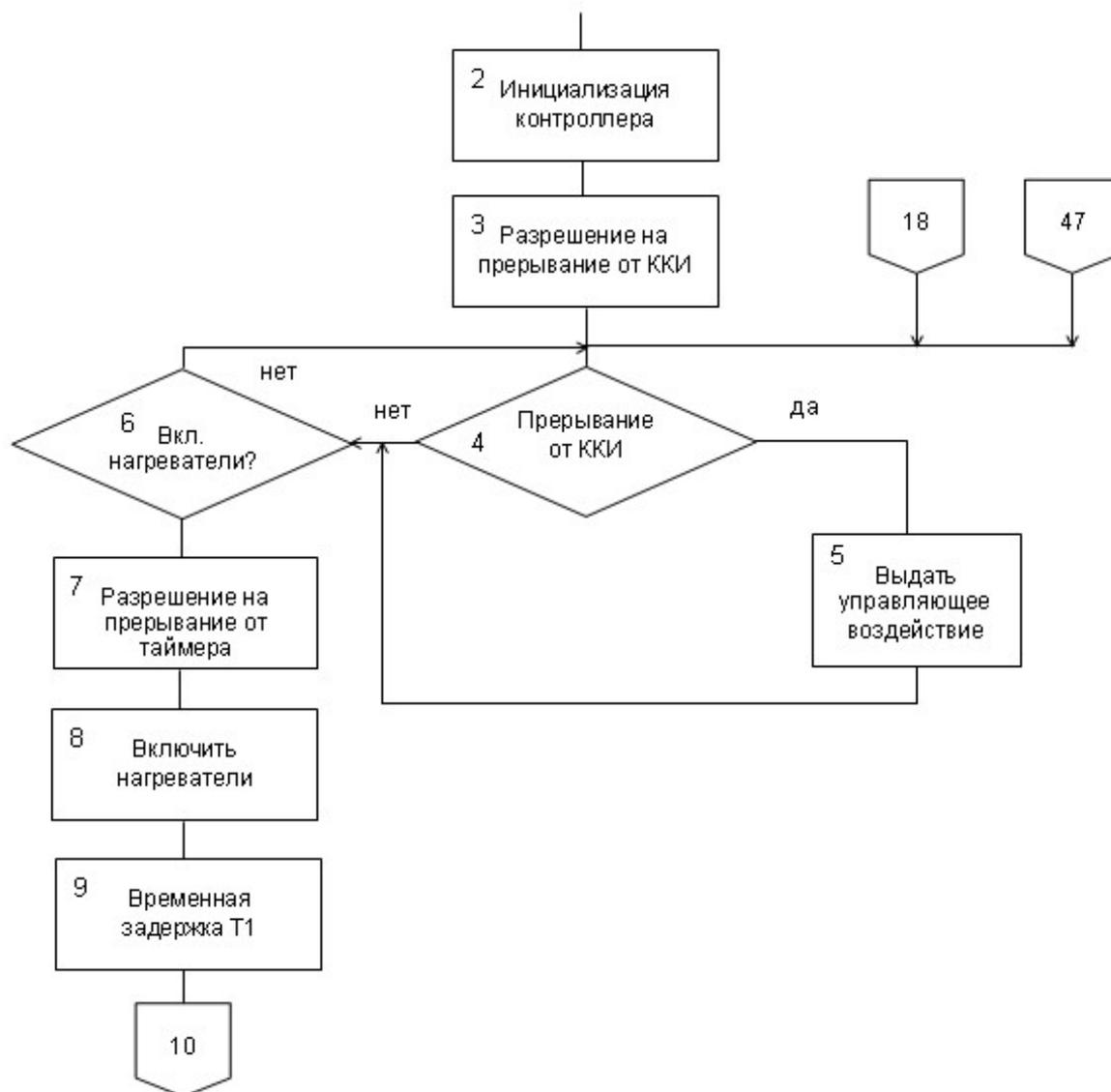


Рис. 2. Блок-схема управления процессом сушки (фрагмент)

Функционирование системы осуществляется следующим образом. После подачи питания происходит инициализация контроллера. Выдается разрешение на прерывание от ККИ, и система ожидает команды на включение нагревателей. В это время предоставляется возможность ввода необходимой информации с клавиатуры пульта и ее индикации. После получения сигнала на включение нагревателей дается разрешение на прерывание от таймера, и включаются нагреватели. На этом этапе проводится их тестовая проверка. Формируется временная задержка $T1$ и определяется повышение температуры в камерах. Если температура не изменяется, повторно формируется сигнал на включение нагревателей. После четвертой неудачной попытки отключаются нагреватели и сообщается об аварии. При нормальном функционировании камер сбрасывается счетчик посылок и система осуществляет выход на технологический режим по температуре. При достижении рабочей температуры

формируется сообщение и ожидается сигнал на включение привода. После запуска приводов контроллер функционирует в режиме рабочего цикла. После выбора группы температурных датчиков осуществляется прием информации с них, а контроллер ожидает прерывание. Если запрос на прерывание от ККИ или таймера не поступил, опрашиваются аварийные датчики обрыва. Если обнаружен обрыв в зоне Д1_n или Д2_n (первый или второй датчик n-й линии), останавливается n-й привод и после прохода оборванного полотна зоны датчика ДЗП осуществляется выход из рабочего цикла, т.е. срабатывает нож, останавливаются приводы участка, выключаются нагреватели, система переходит в режим ожидания запуска.

Если обрыва нет, происходит возврат к ожиданию прерывания. При обнаружении прерывания от таймера определяется температура, при необходимости выдается управляющее воздействие на нагреватели, а в случае обнаружения аварийной ситуации осуществляется выход из рабочего цикла. По прерыванию от ККИ индицируется запрашиваемый параметр или происходит останов системы с переходом в режим ожидания запуска.

Предложенная система управления нагревателями позволяет контролировать работу технологического оборудования линии сушки и способствует повышению качества и эффективности производства гуммировочных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю. Р. Режимы вулканизации и прогнозирование свойств гуммировочных покрытий / Ю.Р. Осипов. – Вологда: ВПИ, 1992.-204 с.
2. Алиев Г.М., Измерительная техника: Учеб. пособие для техн. вузов / Г.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров. - М.: Высш. школа, 1991.-382 с.

ПРАВИЛО ДЕСЯТИ МОМЕНТОВ ХОЛОСТОГО ХОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

И.К. Александров

Россия, Вологодский государственный университет

В классических курсах «Теория машин и механизмов» и «Детали машин» [1, 2] в целях упрощения определения величины фрикционных потерь в элементах механических передач принято допущение о возможности использования в инженерных расчетах зависимости, предложенной Амонтоном (1699 г.) [3]:

$$F_{TR} = f_{TR} \cdot F_H, \quad (1)$$

где F_H – нормальная сила, передаваемая на площадку контакта между взаимодействующими телами, H ; F_{TR} – сила трения: сила, возникающая при относительном перемещении тел в касательном направлении, H ; f_{TR} – коэффициент трения.

Однако реально в соответствии с законом Амонтона-Кулона (в его полной форме) [4, 5] фрикционные силы в паре трения определяются зависимостью:

$$F_{\Phi P} = F_{TR} + F_{CC} = f_{TR} \cdot F_H + F_{CC}, \quad (2)$$

где $F_{\Phi P}$ – суммарная фрикционная сила, H ; F_{CC} – сила молекулярного сцепления, величина которой не зависит от значения силы F_H , H .

Допущение отсутствия сил сцепления в элементах кинематической цепи, определяемое формулой (1), приводит к тому, что относительные механические потери, оцениваемые КПД как в элементах кинематической цепи (КЦ), так и в целом для всей КЦ, считаются постоянными, то есть не зависят от нагрузочного режима передаточного механизма. В таком случае расчёт суммарного КПД всей КЦ сводится к очень простому выражению:

$$\eta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (3)$$

где η_{Σ} – суммарное значение КПД кинематической цепи, n – количество элементов кинематической цепи, R_i – предельное (максимальное) значение КПД соответствующего (i -го) элемента КЦ.

Ущербность расчета КПД как произведения постоянных коэффициентов очевидна, так как при этом не учитывается влияние на КПД нагрузочных, скоростных и температурных режимов, вида и состояния смазки и других условий эксплуатации. Важнейшим фактором, принципиально изменяющим значение КПД, является нагрузочный режим ра-

боты механизма, определяемый передаваемым крутящим моментом, который при работе любой машины меняется в широких пределах: от нуля до максимально допустимых значений.

Впервые ревизию упрощенной методики энергетического анализа механической передачи провел Г.А. Левит [7], который представил КПД механической трансмиссии как функцию, зависящую от нагрузочного (мощностного) режима.

Г.А. Левит предложил разделить общие потери в передаче на нагрузочные и постоянные:

$$N_C = N_H + N_X, \quad (4)$$

где N_C – суммарные потери мощности; N_H – нагрузочные (переменные) потери мощности (эти потери прямо пропорциональны реализуемой полезной мощности); N_X – постоянные потери: мощность, необходимая для совершения холостого хода механизма.

Справедливо полагая, что при выполнении холостого хода КПД передачи равен нулю, а близкое к максимальному стабильное значение КПД достигается только при значительной полезной нагрузке, Левит предложил для расчёта текущего значения КПД функцию вида:

$$\eta = \eta_\Sigma \left(1 - \frac{N_X}{N}\right). \quad (5)$$

Здесь η_Σ – предельное суммарное значение КПД передачи, определяемое по традиционной формуле (3).

Однако следует отметить, что гиперболическая зависимость (5) содержит методологическую некорректность, которая заключается в том, что использование отношения мощностей N_X / N допустимо только при условии соблюдения равной частоты вращения приводного вала как при холостом ходе, так и при нагрузочном режиме работы механизма: $\omega_X = \omega = const$. В противном случае формула (5) не работает. Следовательно, мы вынуждены принять условие постоянства скоростного режима и внести коррективы в формулу (5), а именно заменить отношение мощностей отношением моментов:

$$\frac{N_X}{N} = \frac{M_{X\Sigma} \cdot \omega}{M \cdot \omega} = \frac{M_{X\Sigma}}{M}$$

при $\omega = const$,

где M – полный момент на приводном валу; $M_{X\Sigma}$ – суммарный момент холостого хода всех элементов передачи, приведенный к приводному валу; ω – заданная частота вращения приводного вала. Перепишем

формулу Левита в корректном виде: $\eta = \eta_\Sigma \left(1 - \frac{M_{X\Sigma}}{M}\right)$ при $\omega = const$ (6)

В работе [5] представлено доказательство соответствия зависимости (6) закону Амонтона-Кулона в его полной форме (2).

Для данной зависимости характерно то, что по мере увеличения нагрузочного режима КПД вначале существенно возрастает, но при достижении некоего граничного значения (на графике точка $A_{ГР}$) его величина стабилизируется. Следовательно, за пределами граничного КПД значения допустимо использовать упрощенную (традиционную) методику расчета.

Теперь вернемся к вопросу о граничном значении КПД (рис. 1). Ранее в работах [5 и др.] автором было предложено определять положение точки $A_{ГР}$ на основе стабилизации производной (скорости изменения) функциональной зависимости $\eta = f(M)$. Согласно этому способу, граничное значение момента $M_{ГР}$ вычисляют формуле: $M_{ГР} = 28,3638\sqrt{\eta_{\Sigma}M_{x\Sigma}}$ или находят с помощью номограммы. После чего находят граничное значение КПД ($\eta_{ГР}$) по формуле (6).

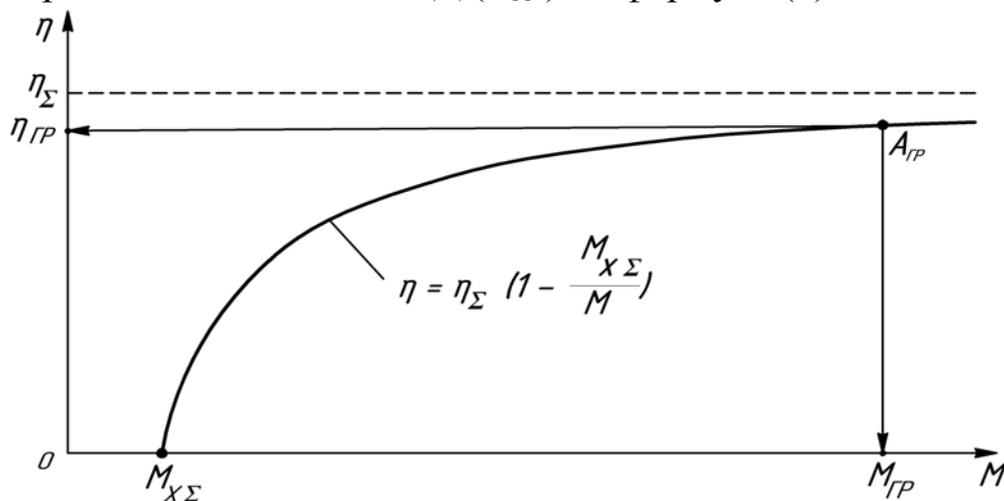


Рис. 1. Гиперболическая зависимость КПД механической передачи от величины момента на приводном валу $\eta = f(M)$

В данной работе впервые рассмотрен метод, который значительно упрощает энергетический анализ механической передачи, фактически не снижая качество результата, что, безусловно, способствует внедрению данного метода в инженерную практику.

Примем условие, что достоверность вычислений предельного значения КПД по формуле (3) составляет 90% (что, кстати, в большинстве случаев соответствует действительности). Таким образом, получаем величину граничного значения КПД: $\eta_{ГР} = 0,9\eta_{\Sigma}$. Далее находим значение граничного момента, при котором КПД передачи становится стабильным (см. рис. 1):

$$0,9\eta_{\Sigma} = \eta_{\Sigma}(1 - M_{x\Sigma}/M_{ГР}) \Rightarrow 0,9 = 1 - M_{x\Sigma}/M_{ГР} \Rightarrow 0,1 = M_{x\Sigma}/M_{ГР}.$$

В результате получаем весьма примечательное соотношение:

$$M_{GP} = 10 M_{X\Sigma} . \quad (7)$$

На основе зависимости (7) энергетическая оптимизация механической передачи решается достаточно просто. Назовем этот методический подход *Правилом десяти моментов холостого хода*.

Суть «Правила...» заключается в том, что сначала экспериментально (путем прокручивания) находят величину холостого хода передачи, затем за счет увеличения полезной нагрузки на механизм создают на приводном валу крутящий момент, десятикратно превышающий величину момента холостого хода. Соответственно, с учетом заданного скоростного режима определяют и минимально необходимую мощность приводного двигателя:

$$N_{ДВ} = M_{GP} \cdot \omega , \quad Вт.$$

ВЫВОД. Правило десяти моментов холостого хода позволяет оперативно решать задачу повышения энергетической эффективности механических передаточных механизмов за счет оптимизации их нагрузочных режимов. Универсальность и простота метода расширяют возможность его применения в инженерной практике как при разработке, так и при эксплуатации машин самого различного назначения. Автор убежден, что использование «Правила...» позволит осуществить масштабное снижение энергоемкости многих технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И.И. Теория машин и механизмов / И.И. Артоболевский.- М.: Наука, 1988. – 639 с.
2. Решетов, Д.Н. Детали машин / Д.Н. Решетов.- М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
3. Amotons V. De resistance caus ee dans mashines. Motores de l’Akademie Royal. 1699. P. 203-222.
4. Colomb C. A. Theorie des mashines simples. Memoires de mathematique de physigue l’Akademie des seiences. 1785. T. 10. P. 161-331.
5. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий.- Киев: Техника, 1970. - 396 с.
6. Левит, Г.А. Расчет потерь на трение в приводах станков / Г.А. Левит // Станки и инструмент.- 1959.- №9. - С. 3-10.
5. Александров, И.К. Энергетический анализ механизмов и машин. Теоретическое и экспериментальное обоснование принципов исследования и определения энергетических потерь в механизмах и машинах: монография / И.К. Александров. – 2 изд., испр. и доп.- Вологда: ВоГТУ, 2012. - 244с.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЫ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

Ю.В. Антонова, С.В. Лукин, Н.И. Шестаков
Россия, Череповецкий государственный университет

В большинстве публикаций по оптимизации работы нагревательных печей речь идет о нагреве холодной заготовки, поступающей в печь с температурой, практически равной температуре окружающей среды. Стальной слиток нужно нагреть перед прокаткой или ковкой до температуры $1200 \div 1250$ °С, поэтому нагрев массивных слитков в печи длится несколько часов. Однако если производить нагрев горячей заготовки, поступающей непосредственно с разливочного агрегата, то можно значительно ускорить процесс нагрева и снизить расход топлива в печи.

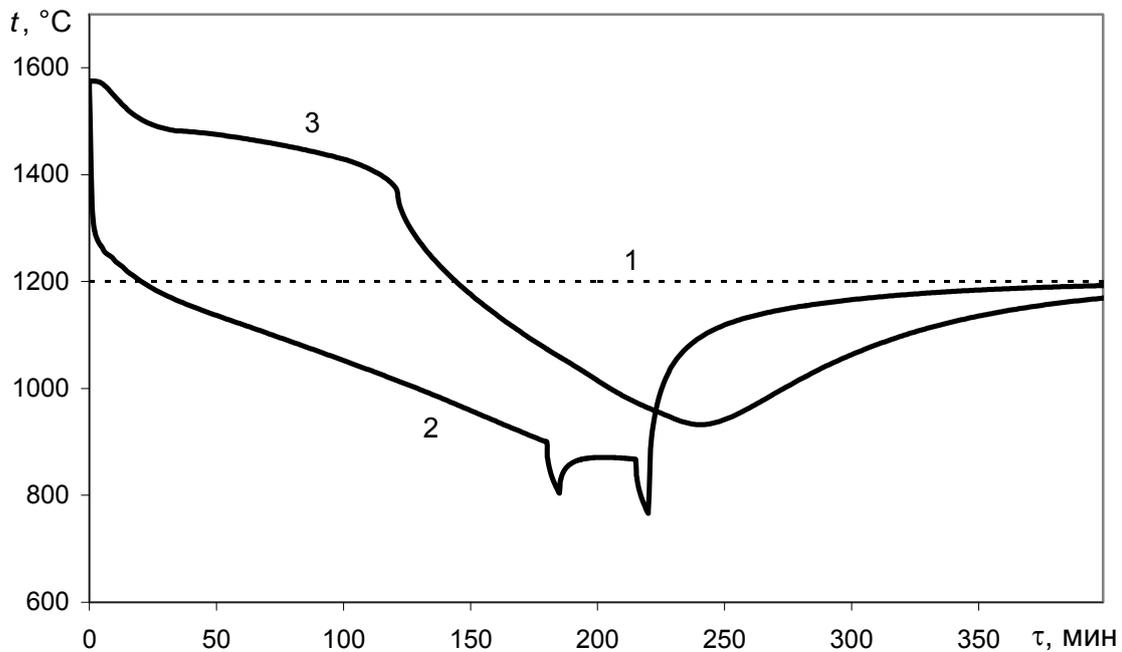
Рассмотрим результаты исследования по затвердеванию, охлаждению и нагреву крупного стального слитка. В изложнице Р-4,5 из жидкой стали с начальной температурой $1560 \div 1580$ °С получается цилиндрический стальной слиток массой 4,5 т, длиной 2000 мм, диаметром 582 мм. Длительность выдержки слитка в изложнице Р-4,5 по действующей инструкции составляет $3,0 \div 3,5$ часов. После этого слиток извлекают из изложницы на воздух и помещают в термостат (теплоизолированный короб), который транспортируют в ковочный цех. Продолжительность транспортировки в термостате и нахождения слитка на воздухе не превышает 40 мин. В ковочном цехе слиток достают из термостата и загружают в нагревательную печь камерного типа с температурой в рабочем пространстве печи 1200 °С, где производится выравнивание температуры по сечению и длине слитка. Идеальный нагрев будет в том случае, если температура во всех точках слитка сравняется с температурой в печи, что практически нереально. Качественным нагревом можно считать случай, когда максимальная разница температур на оси слитка и в печи Δt_{\max} не превышает, например 30 °С. При существующей технологии для качественного нагрева слитка Р-4,5 перед ковкой требуется почти 3 часа выдержки слитка в печи.

Производилось численное моделирование процессов затвердевания слитка Р-4,5 в изложнице, охлаждения на воздухе и в термостате и нагрева в печи при различных длительностях пребывания слитка в изложнице. Для этого рассчитывалось температурное поле как по радиусу слитка, так и по его длине на всех этапах с момента разливки жидкой стали до момента выгрузки слитка из печи. Для расчета процесса затвердевания и охлаждения слитка использовалась квазиравновесная мо-

дель затвердевания. Теплообмен на поверхности слитка в изложнице, на воздухе и в нагревательной печи рассмотрен в [1, 2]. Дополнительно была разработана математическая модель, описывающая теплообмен на поверхности слитка в термостате.

На примере стали 08X18H10T рассмотрим результаты расчета для варианта, близкого к действительному, когда длительность нахождения слитка в изложнице составляет 180 мин, на воздухе после изложницы – 5 мин, в термостате – 30 мин, на воздухе после термостата – 5 мин, в печи – до 180 мин.

На рисунке 1 показано изменение температуры на поверхности (кривая 2) и на оси (кривая 3) слитка Р-4,5 в его среднем сечении от времени τ , начиная с момента заливки жидкой стали в изложницу до момента извлечения из печи в исходном варианте. Температура в рабочем пространстве печи остается постоянной, равной 1200 °С (линия 1 на рис. 1).



*Рис. 1. Изменение температуры слитка в исходном варианте:
1 – температура в печи; 2 – температура на поверхности слитка;
3 – температура на оси слитка*

Как следует из рисунка 1, в момент загрузки слитка в печь ($\tau = 220$ мин) температура на оси – 960 °С, на поверхности – 750 °С. После загрузки слитка в печь температура на оси еще в течение 20 мин понижается, затем начинает плавно возрастать. Температура поверхности слитка быстро растет, стремясь к температуре печи (1200 °С). Через 120 мин после загрузки слитка в печь максимальная разность температур на оси

слитка и в печи составляет $\Delta t_{\max} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$; через 150 мин – $\Delta t_{\max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; через 180 мин – $\Delta t_{\max} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, в исходном варианте, близком к действительному, качественный прогрев слитка, соответствующий $\Delta t_{\max} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, может быть произведен за более чем 2,5 часа пребывания слитка в печи. Такая большая длительность нахождения в печи обусловлена тем, что в момент загрузки в печь температура в центре слитка ниже, чем температура в печи, а температура поверхности слитка еще меньше. Из-за этого после загрузки в печь температура поверхности слитка быстро возрастает, стремясь к температуре в печи, а температура его центра из-за тепловой инерции еще некоторое время понижается и лишь потом начинает возрастать.

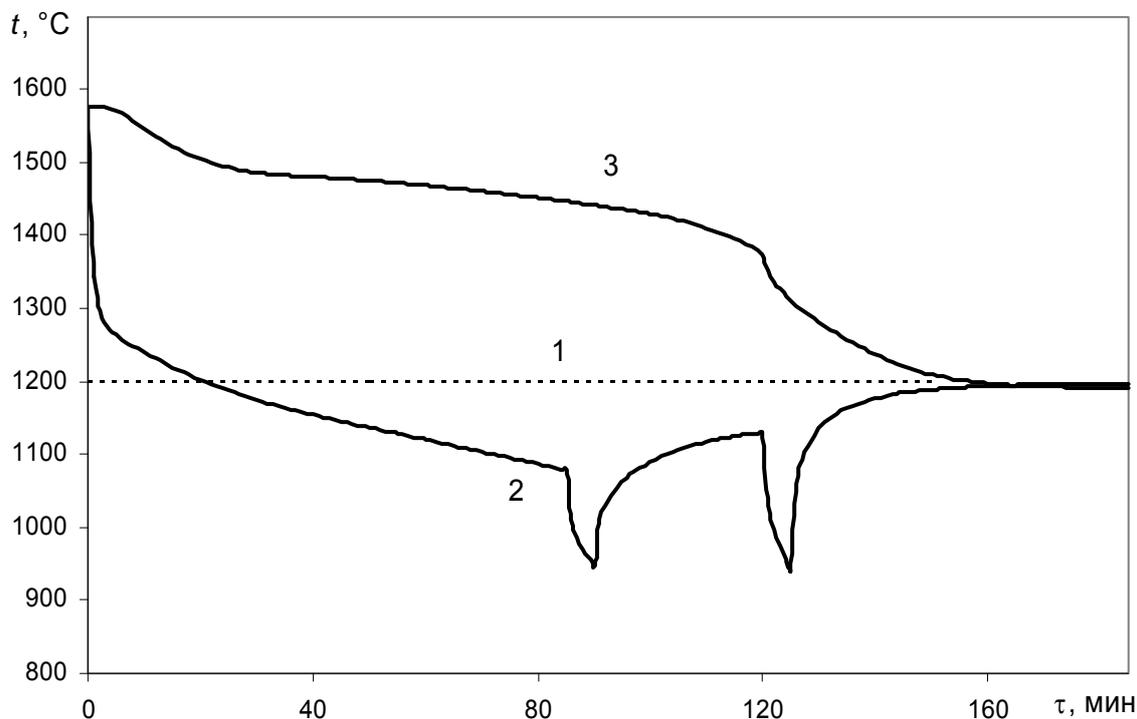
Если уменьшить суммарную продолжительность с момента разлива до момента загрузки слитка в печь, то можно обеспечить условие, когда при загрузке в печь температура центра слитка будет больше температуры в печи, а температура поверхности – меньше температуры в печи. В этом случае после загрузки в печь температура центра продолжает понижаться, стремясь к температуре в печи, а температура поверхности быстро возрастает, также стремясь к температуре печи. Выравнивание температуры по сечению произойдет гораздо быстрее, чем в исходном варианте.

Это подтверждается вариантными расчетами. Рассмотрим процесс затвердевания, охлаждения и нагрева слитка Р-4,5 (сталь 08Х18Н10Т) в варианте, близком к оптимальному, когда необходимая длительность нагрева слитка в печи является минимальной. В данном случае продолжительность нахождения слитка в изложнице составляет 85 мин, что на 95 мин меньше, чем в исходном варианте, а длительность пребывания на воздухе и в термостате остаются такими же.

На рисунке 2 показано изменение температуры на поверхности и на оси слитка в его среднем сечении в данном варианте.

Как следует из рисунка 2, в момент загрузки в печь температура на оси слитка составляет $1310 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура на поверхности – $920 \text{ }^\circ\text{C}$. После этого температура на оси достаточно быстро и монотонно понижается до температуры в печи $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура на поверхности быстро возрастает до температуры в печи, причем не происходит пересечения во времени значений температур центра и поверхности слитка, как в исходном варианте. Через 30 мин после помещения слитка в печь в среднем его сечении происходит выравнивание температуры: максимальное отклонение температуры в среднем сечении от температуры печи не превышает $5 \text{ }^\circ\text{C}$; однако в сечениях, близких к торцевым, как показали расчеты, максимальная разница температур достигает

$\Delta t_{\max} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Через 60 мин пребывания слитка в печи $\Delta t_{\max} = 30^{\circ}\text{C}$. Таким образом, в данном варианте качественный нагрев слитка в печи можно произвести за 60 мин.



*Рис. 2. Изменение температуры слитка в оптимальном варианте:
1 — температура в печи; 2 — температура на поверхности слитка;
3 — температура на оси слитка*

За счет сокращения интервала времени с момента разливки до загрузки в печь с 220 мин до 125 мин, продолжительность нахождения слитка в печи, необходимая для его качественного нагрева, сократилась с 170 мин до 60 мин, т.е. почти в три раза. Соответственно, в три раза повышается производительность печи, и резко снижается удельный расход топлива. В оптимальном варианте подвод теплоты к слитку в печи является незначительным, так как по существу в печи происходит выравнивание температуры по сечению слитка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев, Е.М. Затвердевание стальных слитков / Е.М. Китаев. — М.: Металлургия, 1982. — 168 с.
2. Казанцев, Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования / Е.И. Казанцев. — М. Металлургия, 1975. — 368 с.

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ ПРОИЗВОДСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В.Р. Аншелес, Е.М. Ильичева

Россия, Череповецкий государственный университет

В последние годы в нашей стране наметилась стойкая тенденция к реализации процессов энергосбережения при разработке инновационных проектов производств минеральных удобрений. Одним из таких производств является синтез аммиачной селитры, где на получение гранулированного продукта расходуется до 93 % энергии, которая используется в его производстве, например, на агрегате по производству нитрата аммония «ФосАгро – Череповец». Поэтому сейчас намечены и реплизируются мероприятия по снижению этого показателя путем усовершенствования технологии и его конкурентоспособности с созданием процесса производства на действующих установках аммиачной селитры блока получения жидких комплексных карбамид – аммиачноселитровых смесевых удобрений (КАССов).

Технология такого производства чрезвычайно мало энергозатратна, проста и хорошо адаптируется с производственными процессами, уже созданными на площадке производства азотсодержащих удобрений ОАО «ФосАгро – Череповец», где и может быть создано такое производство, точнее, такой узел. Процесс смешения реализуется в одном из существующих на предприятии аппарате ИТН, представленном на рисунке 1.

Разрабатываемое производство легко практически полностью автоматизировать. Оно позволяет полностью или частично отказаться от сложных и энергозатратных процессов гранулирования удобрений и обеспечить значимые конкурентные преимущества при использовании в сельскохозяйственном производстве КАССов перед гранулированными удобрениями:

- высокая эффективность применения в любых климатических зонах, в том числе засушливых;
- более равномерное внесение и точная дозировка распределения по площади;
- возможность использования на разных стадиях вегетации;
- быстрое проникновение в почву без необходимости обязательной заделки (кроме щелочных почв);
- пролонгированность действия;
- сокращение технологических затрат благодаря возможности внесения в жидких туках, а также в смеси с пестицидами и другими жидкими минеральными удобрениями (в первую очередь с микроэлементами);

- отсутствие биурета (амида аллофановой кислоты, который образуется при нагревании мочевины с аммиаком до 150°C);
- низкая стоимость единицы действующего вещества по сравнению с гранулированными формами.

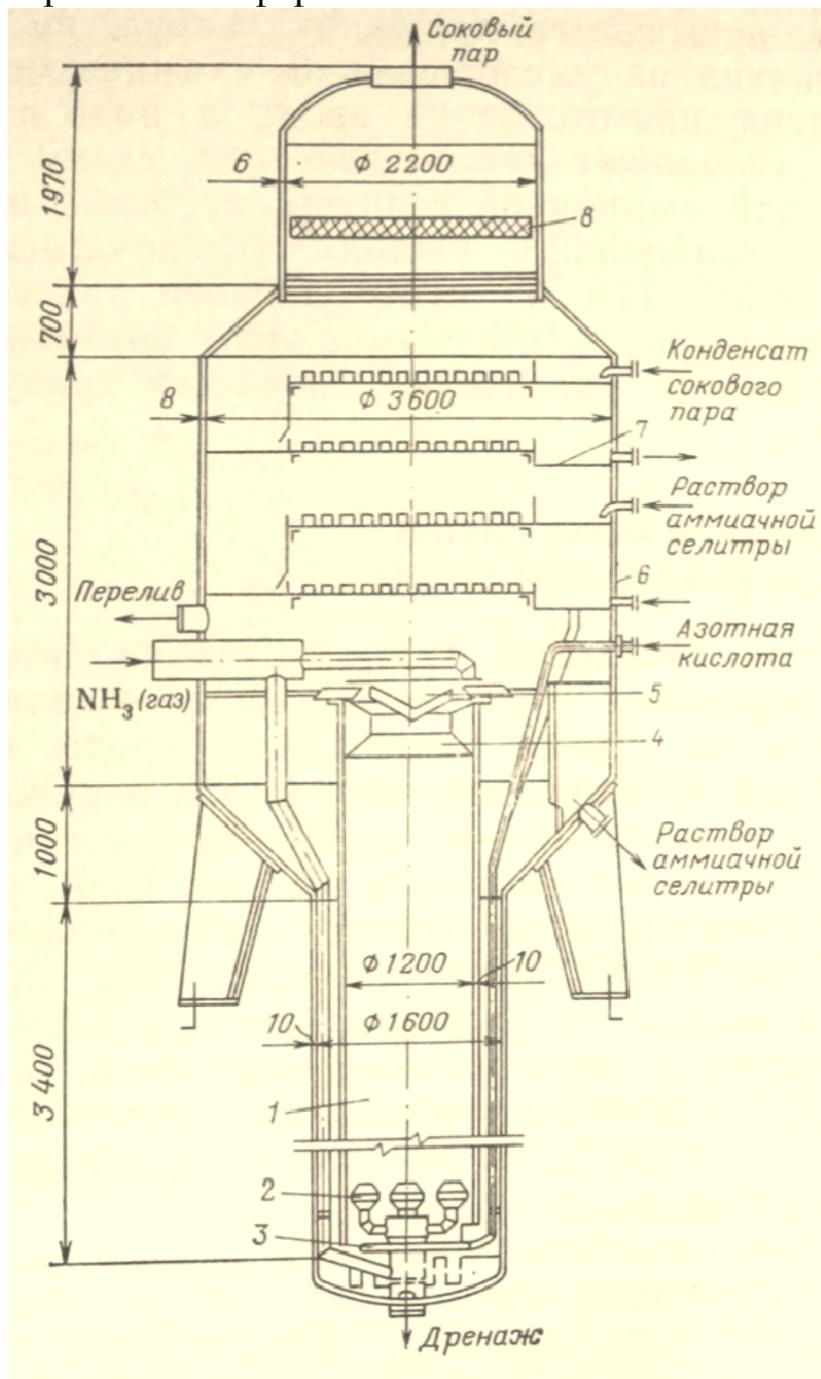


Рис. 1. Аппарат ИТН – вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из 2-х частей: реакционной и сепарационной. Внутри корпуса реакционной находится реакционный стакан с отверстиями внизу. Сепарационная часть аппарата – промыватель с четырьмя колпачковыми тарелками и двумя отбойниками

По данным ОАО «Акрон» [2], мировые цены на КАССы значительно ниже, чем на другие распространенные азотные удобрения.

Кроме того, использование этих жидких удобрений позволит привести непосредственно к корням растений удобрения, содержащие в своем составе углеродную составляющую, которую пока получают «варварскими» методами выжигания стерни, приводящими к пожарам, или сложного травоборота. Их применение позволит совместить процессы полива сельскохозяйственных культур и внесения удобрений, что особенно важно в засушливые годы, как, например, это было в 2010 году, когда из-за засухи Россия потеряла треть урожая зерновых. В состав смеси можно ввести в расчетных количествах фосфорсодержащий компонент, так как на установке производства аммиачной селитры «Череповецкого «Азота» освоен метод производства сложных азотно-фосфатных удобрений (САФУ). При этом удастся избежать процесса гранулирования САФУ, которое является одним из наиболее энергозатратным и снижающим производительность блоком его производства. Одновременно с раствором САФУ и карбамида возможно вводить калийсодержащие добавки как в виде растворов хлоридов калия, так и в виде карбоната калия, образующегося в процессе выделения диоксида углерода из реакционных газов при производстве аммиака. Последний вариант позволит сократить энергозатраты не только при гранулировании минеральных удобрений, но и снизить энергоемкость за счет исключения полного или частичного процесса рекуперации гидроксида калия на установке производства аммиака и последующего производства карбамида. Возможно сохранить наиболее эффективную форму азота при использовании таких удобрений.

В настоящее время разрабатываются различные варианты технологико-математической модели производства этих удобрений, содержащих углеродные, азотные, фосфорные и другие компоненты, и комплексная технологико-экономико-математическая модель этого процесса, позволяющая оценить технологическую и экономическую эффективность разрабатываемых предложений. Алгоритм этой модели реализован на основе табличного процессора Microsoft Excel. Этот алгоритм и созданная на его основе простая программа позволяют автоматизировать процесс оценки вариантов технологических схем производства. Кроме того, эта программа позволяет оценить чувствительность технологий к изменениям внешней среды.

Но уже полученные результаты позволяют утверждать, что разработка и создание процессов производства жидких комплексных углерод-фосфор-азот-калий удобрений на основе смешения жидких растворов определит возможность для создания ресурсо- и энергосберегаю-

щей технологии производства. Интерес представляет экспорт подобных видов жидких комплексных углерод-фосфор- азот-калийсодержащих удобрений в страны Ближнего Востока и Северной Африки, где засушливое лето является основным периодом производства пищевых сельскохозяйственных продуктов. Всё это соответствует концепции приоритетных направлений деятельности ОАО «ФосАгро» в перспективе, в частности - дальнейшего увеличения эффективности работы компании за счет внедрения комплексных программ по управлению издержками и повышению гибкости производства, а также совершенствованию систем управления рисками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аншелес, В.Р. Технология получения растворов КАСС в условиях производства аммиачной селитры ОАО «ФОСАГРО-Череповец» / В.Р. Аншелес, Е.П. Корченкина // Череповецкие научные чтения. – Череповец: ЧГУ. С. 9-11.
2. Годовой отчет за 2011 год [Электронные ресурсы] // Группа «Акрон». Официальный сайт. 2011. – Режим доступа: <http://ar2011ru.acron.ru/>

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА – ОСНОВА РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОБЛАСТИ

В.Р. Аншелес, Н.Н. Яшалова

Россия, Институт менеджмента и информационных технологий (филиал) ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» в г. Череповце

Вопросы эффективного ресурсозамещения на основе оценки конкретных ресурсных возможностей Вологодской области и создания оптимальной схемы организации промышленных производств с учетом проблем эколого-энергетического характера являются актуальными. На территории региона отсутствуют газовые и нефтяные месторождения. Область является энергозависимой от других регионов как по ресурсам электроэнергии, так и по энергоресурсам, таким как моторное топливо (бензин, дизельное топливо и мазут). В качестве топлива для электростанций, промышленных и бытовых котельных региона применяется в основном природный газ, который в больших объемах транспортируется через территорию Вологодской области.

Как известно, переход к устойчивому эколого-экономическому развитию российских регионов зависит не только от внедрения инновационных технологий, но и от более рационального и эффективного использования имеющихся ресурсов. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики Россия занимает первое место в мире по добыче природного и попутного газа, а также нефти. Поэтому подавляющая часть экспортного потенциала Российской Федерации приходится на природные ресурсы, в основном, на невозобновляемые. Топливо-энергетические ресурсы в 2012 году составляли около 71 % в общем объеме экспорта. В то же время на химическую продукцию, производимую из этих ресурсов, приходилось всего 6 % российского экспорта, а на высокотехнологичную продукцию обрабатывающих отраслей - только 5 %. Наблюдается повышение объёмов вывозимых природных ресурсов, а в условиях трансформирующейся национальной экономики необходимо ориентировать развитие экспорта на конечные, а не на промежуточные результаты в виде добычи энергоресурсов.

Природный газ в настоящее время широко применяется во многих производственных процессах, в частности, в химической промышленности. Содержание в природном газе метана и других ценных углеводородов делает его важным источником сырья и в производстве удобрений. Природный газ (особенно северных месторождений) считается самым чистым ископаемым топливом среди углеводородных, т.к. при его «полном» сжигании образуются только вода и углекислый газ. Благодаря своим высоким экологическим характеристикам природный газ получил название «зеленое топливо» [2].

Стоит отметить, что поставки на экспорт газового сырья приводят в дальнейшем к конкуренции на мировом рынке продуктов газопереработки и газохимии стран-импортеров, куда страны-экспортеры, в частности, Российская Федерация, поставляли природный газ. Например, Китай, не имея больших нефтегазовых запасов, долгое время закупал химическую продукцию у других стран, включая СССР, а теперь активно развивает собственное производство этих товаров из углеводородного сырья Российской Федерации и выступает конкурентом для нашей страны в производстве аммиака, карбамида и полиэтилена. Так, например, по производству полиэтилена КНР обгоняет Россию в три раза [1].

В последнее время наиболее крупные газохимические комплексы (ГХК) действуют в США и Канаде. Газоперерабатывающие заводы этих стран поставляют более 70 % всего сырья для своих газохимических комплексов. Опыт США и Канады переняли страны Азиатско-Тихоокеанского региона, латиноамериканские страны, Австралия, страны Персидского залива и Северной Африки. Многолетний опыт США, име-

ющих аналогичные по масштабам с Россией мощности газодобывающих предприятий, показал высокую технологичность и экономичность базирования химической промышленности на легких промышленных углеводородах (метане, этане, пропане и бутане). В России природный газ перерабатывается в основном в аммиак, азотные удобрения и другие химические продукты, но доля переработки газового сырья в химические продукты крайне низкая [1, 2].

Стоимость высокотехнологичных продуктов в газохимии зависит от степени переработки газового сырья. Средняя цена реализации природного газа в 2012 году составляла по России 95,4 дол. за 1000 м³, для дальнего зарубежья – 325,2 дол. за 1000 м³, для стран бывшего Советского Союза – 258 дол. за 1000 м³. При глубокой химической переработке природного газа создаются продукты с более высокой добавленной стоимостью, при этом цена готовых изделий из полимеров в 10 и более раз превышает стоимость углеводородного сырья [2, 3] при небольших затратах на переработку, поэтому процесс переработки природного газа экономически эффективен. На данный момент средняя цена одной тонны этана составляет 7-8 тыс. рублей, этилена – 37 тыс. рублей, тонна полиэтилена низкой плотности в 20 раз дороже сырья – этана, а стоимость готовых изделий из полиэтилена достигает 2,5-3,7 тыс. долларов за одну тонну. Сопоставление мировых цен на газовое сырье и продукты их переработки показывает, что цена продуктов уже первого передела из этана, пропана и бутана выше цены природного сырья не менее чем в 2 раза. Цена продуктов дальнейшей переработки в базовые газохимикаты (этилен, пропилен, бутилены и пр.) выше в 4 раза. Цена химических продуктов (полиолефины, спирты, гликоли и т.п.), получаемых из базовых газовых химикатов, выше в 8–10 раз [1].

Положительной особенностью газохимических производств является их экологичность, т.к. при переработке природного газа применяются мало- и безотходные технологии. Важным преимуществом таких предприятий по сравнению с аналогичными крупнотоннажными производствами из нефтепродуктов является более низкое количество выбросов в атмосферу. Химическая индустрия развитых газодобывающих стран перешла на производство продукции из легких углеводородов (этана, пропана, бутана) с 70-80 годов прошлого века. В настоящее время такой путь развития дублируют развивающиеся страны регионов Юго-Восточной Азии, Ближнего и Среднего Востока [1].

Вологодская область активно принимает участие в реализации разработанного Министерством энергетики РФ «Плана развития газо- и нефтехимии на период до 2030 года». В настоящее время подписано соглашение о сотрудничестве между Правительством области и ЗАО «ФосАгро» по со-

зданию перспективных производств на территории области. Проект создания газоперерабатывающего завода в г. Череповце предусматривает производство, помимо минеральных удобрений, также пластиков (полиэтилена, полипропилена и др.) также из природного газа. На основе собственного производства полиэтилена планируется организовать в регионе перерабатывающие мощности, что в дальнейшем увеличит их объем производства.

Вологодская область обладает необходимыми условиями для создания газохимического комплекса (ГХК). На территории региона проложены и эксплуатируются шесть крупнотоннажных газопроводных магистралей. Развитию ГХК будет способствовать производственная инфраструктура череповецких химических предприятий группы ОАО «ФосАгро», таких как ОАО «ФосАгро-Череповец» (создано в результате слияния ОАО «Аммофос» и ОАО «Череповецкий «Азот» и ЗАО «Агро-Череповец»). Город Череповец является крупным промышленным портом на Рыбинском водохранилище и его называют «портом пяти морей», т.к. система водного сообщения связывает область с северными, южными и западными регионами России, что увеличивает возможность легкой транспортировки продуктов газохимии и их экспорт.

Согласно «Стратегии социально-экономического развития Вологодской области на период до 2020 года» ГХК будет направлен на стабильное развитие промышленности Вологодской области, диверсификацию и оптимизацию её структуры. Результатом его деятельности станет увеличение выпуска высокотехнологичной продукции глубокой и комплексной переработки углеводородного сырья – от минеральных удобрений до продукции тонкой химии. Планируется выпуск полимерных и композиционных материалов, используемых в автомобильной, авиационной, оборонной промышленности и медицине, их импортозамещение.

Согласно предварительным оценкам необходимый объём инвестиций для создания газохимического комплекса в Вологодской области может превысить 50 млрд. рублей. Одним из инвесторов планирует выступить группа ОАО «ФосАгро». Реализация проекта позволит увеличить налоговые платежи череповецких химиков более чем в два раза. Создание производства по комплексной переработке газового сырья в Вологодской области обеспечит значительный мультипликативный эффект для региона: создание более 2000 высокооплачиваемых рабочих мест; увеличение налогооблагаемой базы; рациональное углубленное использование ресурсов углеводородного сырья; замещение импортных поставок пластмасс и продуктов оргсинтеза; диверсификацию рисков, связанных с изменением конъюнктуры на рынке минеральных удобрений; решение экологических про-

блем региона за счет использования побочных соединений кремнефтористоводородной кислоты, утилизируемой в настоящее время шламонакопителях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каминский, А.В. Развитие глубокой переработки газа в мировой экономике / А.В. Каминский // Российский внешнеэкономический вестник. – 2013. – № 9. – С. 106-113.

2. Продукты переработки газа [Электронные ресурсы] // Официальный сайт АО «Газпром». – Режим доступа: <http://www.gazprom.ru>

3. Стоимость газа [Электронные ресурсы] // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ИСТЕЧЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПИЩЕВЫХ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ ИЗ БУНКЕРОВ ОБЪЕМНЫХ ДОЗАТОРОВ

О. Л. Ахремчик, М. Р. Сантос

Россия, Тверской государственный технический университет

В качестве мелкодисперсного пищевого продукта рассматривается молотый обжаренный кофе различных сортов. В процессе производства молотого кофе широко применяются методы объемного дискретного дозирования. Цель управления процессом дозирования двухуровневая. На первом уровне осуществляется стабилизация расхода продукта. Второй уровень управления предусматривает обеспечение режима движения сыпучего продукта в бункере без образования застойных зон и связанных с этим сорбирования влаги и разброса гранулометрического состава продукта в отдельных дозах.

При рассмотрении объемного дозатора мелкодисперсного сыпучего пищевого продукта как объекта управления в качестве выходной переменной рассматривается расход продукта на выходе дозатора. Управляющими воздействиями являются частота вращения выходного вала привода дозатора и объем продукта в бункере. К случайным возмущениям относятся: гранулометрический состав; физическая и насыпная плотности продукта; изменение насыпной плотности продукта под действием сжимающего усилия; твердость, когезия и адгезия частиц про-

дукта; углы естественного (коэффициент внутреннего трения) и динамического откоса; влажность и гигроскопичность продукта.

При моделировании процесса истечения пищевого сыпучего продукта из бункера объемного дозатора рассматриваются два подхода: на основе механики сплошной среды и с использованием метода дискретных элементов [1].

При первом подходе основными допущениями являются предположения: процесс истечения рассматривается как истечение сплошной среды; внутренний коэффициент трения и коэффициент трения между сыпучим материалом и стенками бункера дозатора равны; продукт является однородным; физико-химические свойства продукта при истечении не изменяются.

Проводя декомпозицию бункера дозатора для нижней части, непосредственно контактирующей с зоной истечения, при первом подходе:

$$dQ/dt = F(X_b; X_y; Q), \quad (1)$$

где Q – расход продукта; X_b , X_y – возмущающие и управляющие воздействия.

Дополнение (1) условиями однозначности дает систему уравнений, которая позволяет осуществить построение расходных характеристик дозатора при разных значениях возмущений и управлений. С точностью аппроксимации на основе первого подхода даются оценки коэффициента устойчивости; коэффициента передачи и чувствительности коэффициента передачи к вариациям переменных модели. Подход позволяет осуществлять исследование как стационарных, так и переходных режимов функционирования дозатора.

Недостатком первого подхода является невозможность разложения на доступные для наблюдения элементарные динамические звенья. Достижение цели управления второго уровня при первом подходе затруднено представлениями о процессе движения частиц продукта в бункере на качественном уровне.

При втором подходе предполагается, что процесс движения сыпучего материала определяется квазипериодическим возникновением и разрушением сводов. Причиной движения частиц продукта является разность сил тяжести и сил, действующих в контактах частиц, при открывании выпускного отверстия дозатора. Дискретность отбора доз приводит к тому, что локальное течение не успевает распространиться на весь объем сыпучего материала. В продукте возникают различные пластические зоны течения, границы между которыми проходят по линиям разрыва, на которых наблюдаются скачки скорости течения и связанная с этим неустойчивость процесса движения.

Второй подход базируется на поэтапном рассмотрении элементарных слоев, выделяемых в продукте. Рассмотрение бункера с продуктом как сложной многосвязной системы с использованием второго подхода позволяет осуществить моделирование стадий образования и обрушения сводов в объеме продукта. Моделирование начинается с задания начального положения и начальной скорости частиц сыпучего продукта. Движение каждой частицы при моделировании рассчитывается на основе классических уравнений механики.

Допущения, принимаемые при моделировании: продукт состоит из обособленных упругих частиц шарообразной формы с малой связью между частицами; продукт не сопротивляется растяжению, нормальные напряжения в нем сжимающие; деформации сдвига происходят, если касательные силы превышают силы внутреннего трения; физико-химические свойства продукта при истечении не изменяются.

Удельное усилие, действующее на одну частицу, в выделенном элементарном слое продукта изменяется по радиусу сечения, так как ему противостоят силы трения, действующие на частицу от других слоев.

Система уравнений движения для каждого элемента в слое [2]:

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = F_i, \quad I_i \frac{d^2 \theta_i}{dt^2} = M_i (i = 1, \dots, N),$$

$$F_{n,ij} = F_{n,ij}^e + F_{n,ij}^v, \quad F_{n,ij}^e = \frac{4}{2(1-\nu_i^2)E_i + (1-\nu_j^2)E_j} \sqrt{\frac{R_i R_j}{R_i + R_j}} \delta_{ij}^2, \quad (2)$$

$$F_{n,ij}^v = -\gamma_n M_{ij} u_{n,ij}, \quad F_{t,ij} = -\text{sign}(u_{t,ij}) F_{n,ij} * \tan \varphi_t$$

где t – время; m_i , I_i – масса и момент инерции частицы; F_i – сумма сил, действующих i -ю частицу; M_i – момент сил F_i относительно центра i -ой частицы; $F_{n,ij}$, $F_{t,ij}$ – силы отталкивания и трения на контактах i -ой и j -ой частиц; $F_{n,ij}^e$, $F_{n,ij}^v$ – упругая и вязкая составляющие сил отталкивания; ν_i – коэффициент Пуассона; E_i – модуль упругости частицы; M_{ij} – приведенная масса частиц; $u_{n,ij}$ – проекция относительной скорости точки соударения на ось n_{ij} ; γ_n – коэффициент демпфирования; $F_{t,ij}$ – сила тяжести, которая направлена против движения i -ой частицы относительно j -ой частицы; $u_{t,ij}$ – проекция скорости точки контакта C_i относительно скорости точки C_j на ось t_{ij} ; φ_t – угол контактного трения между частицами.

При применении второго подхода при составлении решений системы (2) наблюдается рост сложности внутренней структуры объекта и увеличение априорной неопределенности параметров отдельных частей. Это делает затруднительным анализ описания режимов движения сыпучего продукта в локальной системе управления дозатором. Деформация

сдвига приводит к изменению плотности и коэффициента внутреннего трения, а при сцеплении могут появляться растягивающие усилия с нарушением принятых допущений.

Сравнительный анализ подходов проводится на основе системы показателей: число и характер допущений; размерность множества начальных условий; число переменных и степень их неопределенности; число уравнений; вычислительная сложность и сходимость процедур и алгоритмов моделирования при получении оценок коэффициента устойчивости дозатора и чувствительности коэффициента передачи дозатора к вариациям возмущений и управлений. Результаты анализа показывают, что при моделировании движения продукта в бункере объемного дозатора мелкодисперсного пищевого продукта целесообразно использовать первый подход к моделированию на основе уравнений механики сплошной среды. Данный подход позволяет провести рассмотрение инерционности дозатора при вариациях уровней различных факторов при меньшей вычислительной сложности системы уравнений модели, что позволяет осуществлять разработки встраиваемого в системы управления прикладного программного обеспечения, направленного на решение задач одноуровневого управления объемными дозаторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахремчик, О. Л. Расширение параметров состояния бункеров объемных дозаторов мелкодисперсных продуктов / О. Л. Ахремчик, М. Р. Сантос // Сб. трудов научно-практ. конф. «Актуальные проблемы автоматизации и управления». – Челябинск: ЮУрГУ, 2013. – С. 9 – 11.
2. Клишин, С. В. Применение метода дискретных элементов при анализе гравитационного движения гранулированного материала в сходящемся канале / С. В. Клишин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009, № 12. – С. 273 – 277.

РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ БЕСШОВНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ФОРМОВКИ ИЗНУТРИ СУЩЕСТВУЮЩИХ

П.В. Бабкин, И.В. Карпенко

Россия, Филиал ОАО «ОГК-2»-Киришская ГРЭС, г. Кириши

Очень большая часть трубопроводов в России эксплуатируется с 50÷70-х годов и на сегодняшний день имеет утончение металла стенок сверх нормативного (до 70÷80%), и соответственно, требует их капитального ремонта или замены. Но в большинстве случаев в силу ряда объективных причин использовать траншейную перекладку трубопроводов практически нереально.

Помимо общего утонения и износа металлических труб, они являются источником продуктов пластовой коррозии. Пластовая коррозия на напорных трубопроводах электростанции приводит к прямым потерям при выработке электроэнергии из-за забивания входных участков трубок конденсатора.

На сегодняшний день существует технология бесшовной непрерывной формовки трубы изнутри существующей путем устройства стеклопластиковой трубы с использованием старой металлической трубы в качестве опалубки.

При выполнении работ используются композитные материалы, состоящие из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего материала, который используется как конструкционный материал при производстве цистерн, лопастей вертолетов, коррозионно-стойкого оборудования и трубопроводов. Стеклопластики обладают высокой изотропией, приводящей к значительному увеличению прочности и надежности в работе трубопроводов, что позволяет повысить в 1,5÷2 раза удельную конструктивную прочность изделий из композитных материалов по сравнению с цельнометаллическими. Основные преимущественные свойства стеклопластиков: высокая прочность при малом собственном весе, атмосферостойкость, химостойкость и неподверженность гниению.

Технология бесшовной непрерывной формовки трубопроводов включает в себя механическую очистку внутренней стороны трубопровода; формовку стеклопластиковой трубы, состоящей из нескольких слоев стеклоткани и армирующей сетки, пропитанных эпоксидными компаундами; покрытие стеклопластиковой трубы финишным износостойким полимерным материалом.

Преимущества метода:

- изготовление стеклопластиковой трубы не требует проведение земляных работ;
- скорость изготовления стеклопластиковой трубы диаметром 1800 мм составляет 6 погонных метров в сутки;
- формование происходит с точным повторением формы трубопровода, включая компенсаторы, отводы, гибы, позволяет создавать защитный «кокон» проточных частей запорной арматуры одним ровным бесшовным изделием;
- ремонтируемая труба очищается от продуктов коррозии и пассивируется ингибиторами для создания условий хорошей адгезии с устанавливаемым в ней стеклопластиком, что намного замедляет процессы коррозии и негативное воздействие на металлическую трубу блуждающих токов;
- не обрастает отложениями и биоорганизмами;
- абсолютная ремонтпригодность: в случае производства сварочных работ не выделяет диоксида;
- в случае разрушения металлической трубы принимает на себя все нагрузки.

Толщина такой стеклопластиковой трубы может составлять 5÷15 мм, что позволит эксплуатировать трубопроводы в штатном режиме и избежать замены изношенной трубы еще 20÷25 лет. Данная стеклопластиковая труба может быть выполнена на трубопроводах диаметром 1400 мм и выше.

В 2008 году в аккредитованной научно-испытательной лаборатории «Политехтест КСМ» города Санкт-Петербург были проведены испытания модели полимерной трубы (общая длина 1200 мм, диаметр 125 мм, длина испытываемого участка трубы – 300 мм).

Согласно техническому заключению данной лаборатории зафиксировано предельное значение избыточного внутреннего давления (по критерию нарушения герметичности) – 8,0 МПа (80 кгс/см²). Выполнены лабораторные испытания фрагментов модели полимерной трубы на радиальное сжатие. Предельная нагрузка трещинообразования составила 0,62 кН/см. Выводы: целесообразно проведение натуральных промышленных испытаний.

В 2011 году кафедрой сопротивления материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета была выполнена предварительная расчетная оценка прочности и жесткости

водовода из композиционного материала цилиндрической и эллиптической формы поперечного сечения, находящегося под действием веса грунта и внутреннего давления. Расчеты проводились для толщин композита 5, 8, 10, 12, 15 мм.

Полученные результаты позволяют утверждать, что для взятых из литературы [1] упругих констант для аналогичных материалов и предела прочности конструкция цилиндрического или эллиптического композиционного водовода с толщиной стенки 10 мм, армированного десятью слоями стеклоткани, без усиления дополнительными конструктивными силовыми элементами удовлетворяет условиям прочности, не превосходят предел прочности на растяжение, составляющий 150 МПа (1500 кгс/см^2) при следующих нагрузках: максимальное внутреннее давление в трубопроводе 0,4 МПа (4 кгс/см^2), вес вышележащего массива грунта толщиной 6 м, вес автотранспорта 10 т.

Также в 2011 году в аккредитованной научно-испытательной лаборатории «Политехтест КСМ» города Санкт-Петербург было проведено экспериментальное исследование механических свойств стекловолоконного композита армированного тканью Т-23 изготовленной по ТУ 6-48-53-90. Каждый слой ткани пропитывается эпоксидной смолой, в итоге композит представляет собой слоистую структуру с толщиной одного слоя (стеклоткань + эпоксидная смола) – 1мм. Испытания проводились на статическое растяжение согласно ГОСТ 25.601-80 [2] и статическое сжатие по ГОСТ 25.602-80 [3].

Для испытаний использовались образцы призматической формы сечениями 25x10 и 25x15 мм длиной 250 мм – для образцов на растяжение и длиной 140 мм – для образцов на сжатие. Нагружение производилось жестко со скоростью 5 мм/мин трех направлений приложения нагрузки (0° , 45° и 90° к основе).

При проведении испытаний установлено, что исследуемый материал обладает ярко выраженной анизотропией упругих и прочностных свойств. В зависимости от направления приложения нагрузки значения модулей упругости и предела прочности могут варьироваться в пределах превышающих 40%.

В 2007 году образец данного покрытия с открытыми с обеих сторон торцами в качестве эксперимента был помещен в ведро с водой из под крана, через полтора месяца этот же образец положили в ведро с технической водой. После трехмесячного нахождения в воде был выполнен замер толщины нанесенного покрытия на образце. Получили, что покрытие не набухло, его толщина осталась неизменной 10÷12 мм.

Данная технология в качестве промышленного эксперимента впервые была применена на Киришской ГРЭС:

В 2008 году во время капитального ремонта блока 300 МВт станционный №5 на напорном циркуловодовде длиной 125 метров, внутренний диаметр 1800 мм. После 20 357 часов работы циркуловодовда замечаний к стеклопластиковой трубе нет.

В 2011 году во время модернизации блока 300 МВт станционный №6 под работу в составе ПГУ-800. Общая длина двух участков 348 метров, внутренний диаметр 1800мм. После 9 938 часов работы циркуловодовдов замечаний к стеклопластиковой трубе нет.

В 2011 году во время капитального ремонта блока 300 МВт станционный №2. Общая длина двух участков 356 метров, внутренний диаметр 1800мм. После 7 238 часов работы циркуловодовдов замечаний к стеклопластиковой трубе нет.

Применение данной технологии целесообразно при восстановлении и защите от коррозии трубопроводов различного назначения, с внутренним диаметром 1400 мм и выше, давлением до 8,0 МПа (80 кгс/см²) и температурой среды до 60⁰С, в том числе на химических производствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн.1 / Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; Под ред. Б.Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.: ил.

2. ГОСТ 25.601-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

3. ГОСТ 25.602-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Е.А. Бахтенко, И.А. Измайлов

Россия, Вологодский государственный университет

Современный рынок промышленных товаров и услуг за последние десятилетия претерпел существенные изменения, которые продолжают углубляться. Усложнение продукции, повышение требований к ее качеству, обострение конкуренции – вот лишь некоторые причины, по которым производители вынуждены кардинально пересматривать формы и способы ведения своей деятельности. Необходимо использовать новые подходы, которые позволят в полной мере реализовать возможности новых технологий и человеческих ресурсов. Таким подходом сегодня является использование методов, технологий и средств информационной поддержки жизненного цикла изделия (ИПИ), которые основаны на концепции CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support, непрерывный сбор информации и поддержка жизненного цикла изделия).

Применение новых технологий в сфере телекоммуникаций для информационной поддержки позволит повысить качество информированности персонала предприятия и, как следствие, качество продукции. Доступность информации обеспечит своевременное получение именно нужной информации на всех этапах производства, а сами системы развертываются в составе обновленного информационного пространства изделия, ядром которого является информационная модель изделия.

Одной из основных задач при формировании эксплуатационной документации (далее ЭД) на сложное наукоёмкое изделие является ее изготовление с максимальным качеством при ограниченных затратах. Спецификой ЭД на сложное изделие является то, что она состоит из документации на составные части [2]. Ее формирование нельзя проводить без учета состава и структуры, а также сведений об особенностях эксплуатации — показателей надежности деталей и узлов. Учитывая изложенное выше, можно утверждать, что качество ЭД на изделие зависит от качества ЭД па его составные части (детали и узлы), при этом важно отметить следующее:

- с уменьшением надёжности компонента повышается объём его технического обслуживания (ТО);
- увеличение объема ТО компонента требует выпуска более качественной ЭД для него (растёт объем документации, её полнота и т.п.).

В результате задачу формирования ЭД с максимумом качества при ограничениях на бюджет её разработки можно рассматривать как оптимизационную задачу, в которой показатель качества ЭД на изделие зависит от качества ЭД на составляющие компоненты. Причем наиболее качественно должна быть выполнена ЭД на компоненты, у которых больший объём ТО.

Рассмотрим математическую постановку этой задачи.

Будем называть изделием конечный набор деталей, объединённых одним конструкторским замыслом, являющимся закопченным (т.е. не требующим для работы других деталей) продуктом.

Будем называть деталью неделимый конструктивный элемент, входящий в состав изделия, не предполагающий в конкретный момент разбиения на детали. Введем определение состава изделия. Состав – это множество различных деталей, в котором для каждой детали определено количество в изделии коэффициент входимости.

$$P_{(product)} = \{d_1 \dots d_n\},$$

где $i = 1 \dots n$ – число типов деталей в изделии, d_i – коэффициент входимости i -ой детали.

Для описания изделия в контексте обслуживания в эксплуатации такое определение не учитывает, что разные экземпляры детали могут иметь различные формы обслуживания в зависимости от места использования в изделии. Для этого необходимо ввести определение структуры изделия.

Существует стандарт ISO на представление конструкторских данных и соответствующий ему ГОСТ [2]. Этот стандарт задаёт формат представления данных об изделии.

Опорным понятием в этом стандарте является изделие (product). Под изделием понимается вещество или объект, полученный естественным или искусственным путем. Каждое изделие должно иметь одну или несколько версий - PRODUCT_DEFINITION_FORMATION (PDF). Соответствующие версии изделия могут одновременно описываться с различных точек зрения - контекстов. Такое контекстное описание будем называть определением изделия - PRODUCT_DEFINITION. В соответствии с ГОСТ Р 10303 требуется наличие хотя бы одного определения для каждого изделия. Как правило, это определение, задающее представление об изделии с точки зрения (контекста) конструктора. Ниже приводится графическое отображение фрагмента информационной модели, описывающей идентификацию изделия в виде EXPRESS-G диаграммы (рис. 1).

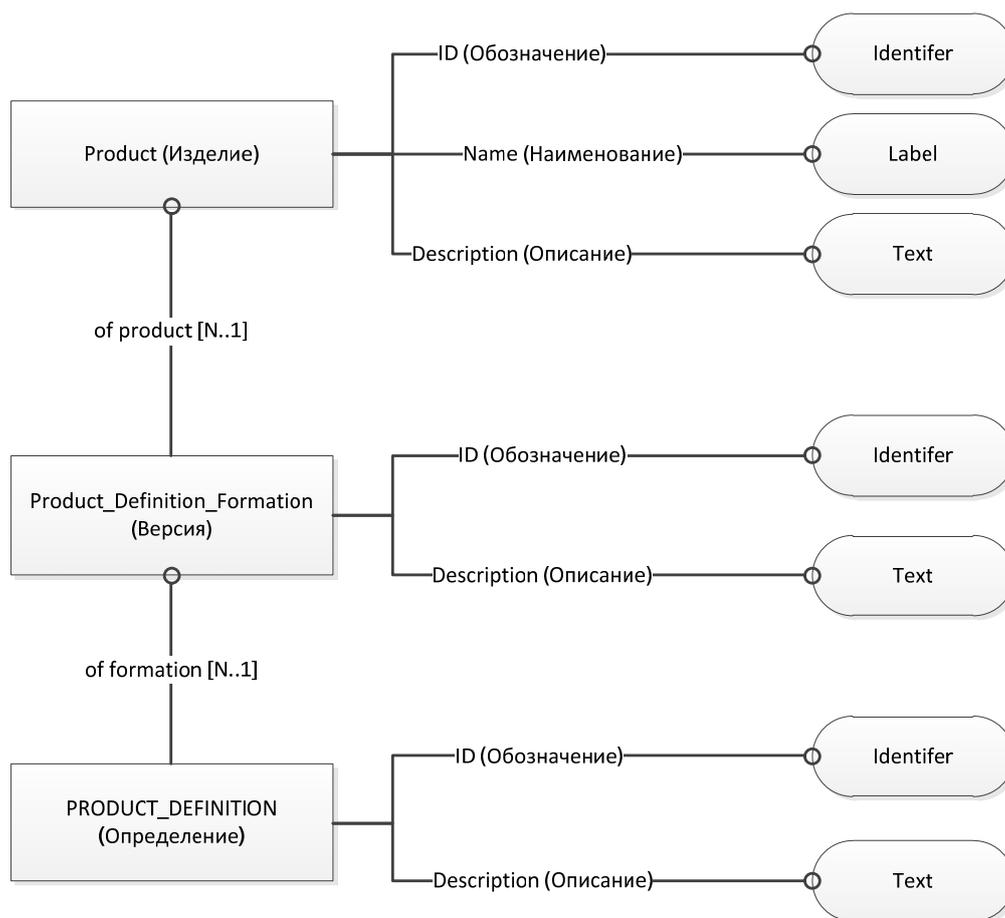


Рис. 1. Схема объектов, задающих определение изделия

Другим опорным понятием в рассматриваемой области является понятие «отношения». Отношение задаёт пару определений изделий. Таким образом, отношения рассматриваются в определённом контексте, исходя из того, что они устанавливаются между объектами PRODUCT_DEFINITION. Базовым объектом всех таких отношений является объект PRODUCT_DEFINITION_RELATIONSHIP (PDR), который имеет следующие атрибуты (табл. 1). В различных системах управления данными об изделии существует множество типов отношений между определениями изделий. Такие отношения являются наследниками объекта PRODUCT_DEFINITION_RELATIONSHIP.

Типичным примером таких отношений является объект NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURENCE (NAUO) - «состоит из». Отношение NAUO задаёт входимость изделия «B» в изделие «A» как сборочной единицы. Количество изделий «B» в сборке «A» определяется количеством экземпляров объекта NAUO. Такое отношение является одним из базовых объектов в PDM-системе и его описание и атрибуты (табл. 2) определены в стандарте [2]. Этот тип отношений позволяет задать набор экземпляров NAUO, описывающий (в зависимости от кон-

текста) определённую структуру и состав сложного изделия, состоящего из тех или иных более простых изделий.

Таблица 1

Описание атрибутов объекта
PRODUCT_DEFINITION_RELATIONSHIP

Наименование	Описание
Id	Обозначение связи
Name	Наименование связи
Description	Описание связи
relating_product_definition	Ссылка на определение связываемого изделия
related_product_definition	Ссылка на определение связанного изделия

Таблица 2

Описание атрибутов объекта
NEXT_ASSEMBLY_USAGE_OCCURENCE

Наименование атрибута	Описание атрибута
PDR.Id	Позиция
PDR.Name	Наименование связи
PDR.description	Описание связи
PDR.relating_product_definition	Ссылка на определение базового изделия (сборочной единицы)
PDR.related_product_definition	Ссылка на определение входящего изделия (детали)

Таким образом, формирование простейших сведений о сложном изделии можно свести к определению совокупности экземпляров объектов PRODUCT_DEFINITION и соответствующих отношений NAUO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аграновский А.В., Арутюнян Р.Э, Хади Р.А. Современные аспекты проблемы поиска в текстовых базах данных // Телекоммуникации. — 2003. — №3. С. 25-23.
2. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы [Текст]. — М.: Стандартиформ, 2001.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТА*

Д.В. Богачев, И.А. Варфоломеев, Е.В. Ершов
Россия, Череповецкий государственный университет

Для улучшения качественных показателей выпускаемой металлопродукции при осуществлении процесса прокатки листовой стали на предприятиях черной металлургии широко используется установка контролируемого охлаждения (УКО). Она предназначена для регулируемого ускоренного охлаждения стальных листов до определённой температуры.

При прокатке листов толщиной более 12 мм температура конца прокатки может достигать 900-1050 °С. Данный показатель превышает оптимальное значение на 100-150 °С. Кроме того, колебания температуры конца прокатки внутри партии листов достигают 50 °С и более. В итоге до 40 % листов не удовлетворяют требованиям стандартов. Поэтому без обеспечения необходимых режимов охлаждения не обходится производство ни одного из видов толстого листа.

На установке контролируемого охлаждения, функционирующей на стане 5000 ЛПЦ-3 ОАО «Северсталь», в качестве охладителя используется вода, которая поступает на полосу между правящими роликами. Вода подается на раскат сверху и снизу в виде плоских веерообразных потоков. Данная технология обеспечивает равномерное охлаждение листа. При этом расходы воды, поступающей снизу и сверху, задаются независимо друг от друга. Установка включает в себя 8 секций. Каждая из секций 1, 4 – 8 состоит из двух отдельно регулируемых зон – центральной и боковой с каждой стороны (рис. 1, а). Для реализации более сложного управления равномерностью охлаждения по ширине листа

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-03-98803).

секции 2 – 3 сверху и снизу разделены на центральную зону и четыре независимых друг от друга боковых зоны (рис. 1, б).

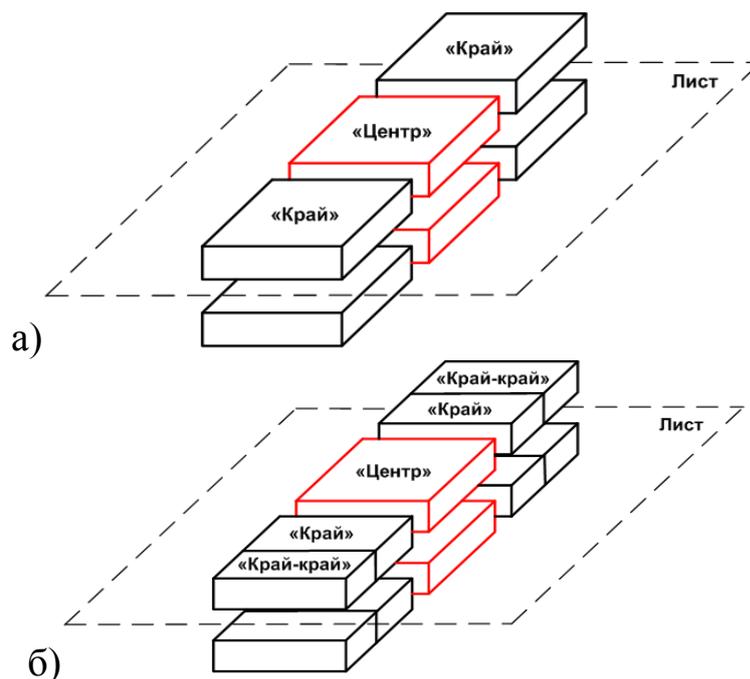


Рис. 1. Схема регулирования расходов воды в секциях УКО

Требуемая итоговая температура и скорость охлаждения обеспечиваются регулированием расхода воды по секциям и длительности охлаждения (скорости движения листа через УКО). В качестве основного параметра управления принимается скорость движения раската.

При моделировании процесса охлаждения стали были выделены следующие входные параметры: расход воды по секциям, начальная температура проката, габариты листа, марка стали, температура охлаждающей воды, скорость рольгангов, промежуток времени между окончанием прокатки и началом охлаждения в УКО.

Сложность расчета температуры обуславливается ее зависимостью от большого числа параметров, которые трудно количественно оценить (например, тепловые потоки). Также не существует универсальной формулы, по которой можно было бы рассчитать температуру по известным величинам. Поэтому в данном случае оправданным является применение интеллектуальных систем, использующих нейронные сети или системы с нечеткой логикой. Указанные механизмы весьма успешно справляются с задачами, которые традиционные системы регулирования решают не самым лучшим образом. Нейро-нечеткие структуры позволяют сочетать способность к обучению и вычислительную

мощность нейронных сетей с интеллектуальными возможностями алгоритмов нечеткого логического вывода [3].

При определенных условиях нечеткая система может быть представлена в форме многослойной сети с прямым распространением сигнала. Знания, составляющие основу корректного функционирования модуля нечеткого управления, записываются в виде нечетких правил в лингвистической форме (1) [3]:

$$\begin{aligned} R^k : IF (x_1 \text{ это } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ это } A_2^k \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ это } A_n^k) \\ THEN (y_1 \text{ это } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ это } B_2^k \text{ AND } \dots \text{ AND } y_m \text{ это } B_m^k), \end{aligned} \quad (1)$$

где $A_1^k, \dots, A_n^k, B_1^k, \dots, B_m^k$ – нечеткие множества; $k=1, \dots, n$; x_1, x_2, \dots, x_n – входные переменные модели; y_1, y_2, \dots, y_m – выходные переменные модели.

В рассматриваемой нами задаче существует только одна выходная переменная – скорость роулингов, поэтому будем рассматривать модели с одним выходом y .

Один из наиболее известных и часто применяемых способов реализации нечетких систем задается формулой (2) [3]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^k \sigma^k \left(\prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right] \right)}{\sum_{k=1}^N \sigma^k \left(\prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right] \right)}, \quad (2)$$

где N – количество нечетких правил, n – количество входных переменных, \bar{x}_i – конкретное значение входного сигнала, \bar{y} – конкретное значение выходного сигнала. Здесь в качестве функций принадлежности входных и выходных переменных используются функции Гаусса, определяемые по формулам (3), (4):

$$\mu_{A_i^k}(\bar{x}_i) = \exp \left[- \left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_i^k}{\sigma_i^k} \right)^2 \right], \quad (3)$$

$$\mu_{B^k}(\bar{y}) = \exp \left[- \left(\frac{\bar{y} - \bar{y}^k}{\sigma^k} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где \bar{x}_i^k, \bar{y}^k – центры, а σ_i^k, σ^k – коэффициенты растяжения (сжатия) гауссовских кривых для входных и выходных переменных соответственно.

Теперь каждый элемент формулы (2) можно задать в форме функционального блока, что после соответствующего объединения позволяет создать нейроподобную многослойную сеть и обучить ее методом обратного распространения ошибки.

Основные трудности использования полученной структуры применительно к технологическим процессам возникают в ходе построения нечетких правил и задания начальных значений параметров функций принадлежности. Данная проблема решается с помощью методов, основанных на самоорганизации.

Для разбиения пространства каждой переменной в работе был применен метод субтрактивной кластеризации [2]. Для синтеза базы правил использовался так называемый алгоритм на основе конкуренции (competitive learning algorithm) [2, 3]. Применение указанных технологий позволило автоматизировать процесс построения нейро-нечеткой структуры.

В связи с использованием большого количества секций регулирования расхода воды, выделением дополнительных боковых зон число входных переменных модели может достигать нескольких десятков. Сохранение входного вектора без изменения приводит к формированию громоздкой нейро-нечеткой структуры, а также снижает вычислительные способности сети. Поэтому при использовании разработанной модели возникает проблема сокращения размерности данных. Для решения данного вопроса был применен метод главных компонент [1], позволяющий уменьшить количество входных переменных с наименьшей потерей информации.

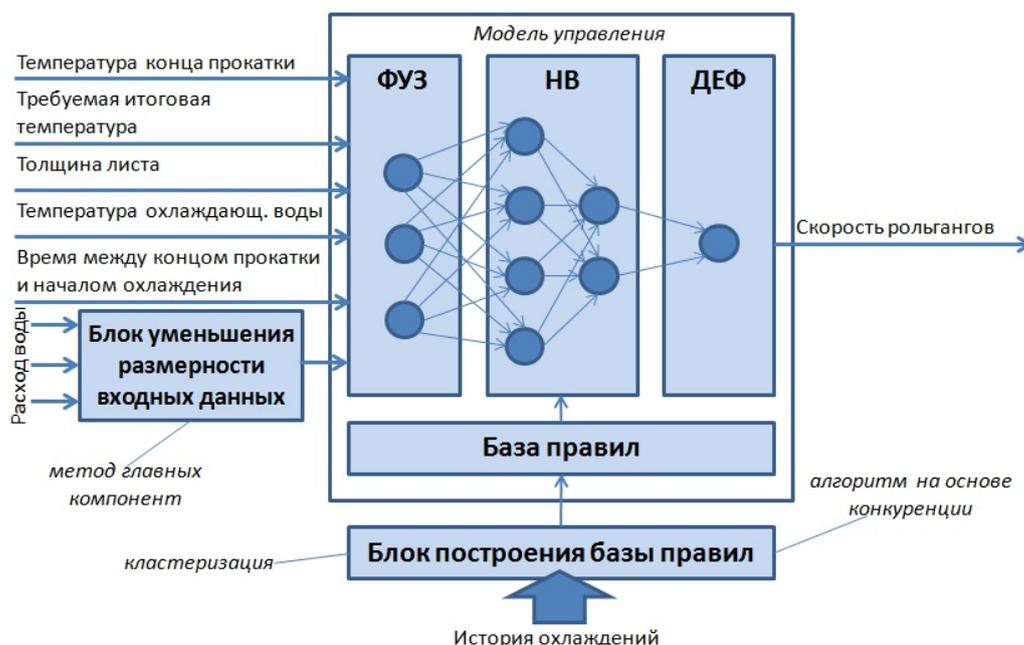


Рис. 2. Структурная схема модели

Обработке указанным алгоритмом были подвергнуты переменные, отвечающие за расход воды по секциям. Остальные параметры остались без изменения. Структура полученной модели представлена на рисунке

2. Данный модуль формируется применительно к каждой используемой марки стали. Для обучения используются данные истории охладений. Описанный метод построения интеллектуального модуля управления был реализован программно в среде Borland Delphi 7.

В результате реализации описанных этапов был разработан нейро-нечеткий модуль, решающий с необходимой точностью задачу управления установкой контролируемого охлаждения листа. Созданное программное обеспечение может быть использовано оператором установки в качестве программной поддержки для расчета параметров охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

2. Богачев, Д.В. Оптимизация нейро-нечеткой модели управления технологическими процессами в металлургии / Д.В. Богачев, Е.В. Ершов, И.А. Варфоломеев // Вестник Череповецкого государственного университета, 2013. №1. – Т.2. – С. 10 – 14.

3. Рутковская, Д., Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2006. – 452 с.

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ УБОРКИ СНЕГА НА ДОРОГАХ, ТРОТУАРАХ И ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ПОМОЩЬЮ СНЕГОТАЯТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Богомоллов

Россия, Вологодский государственный университет

Основной задачей зимней уборки улиц является обеспечение нормальной работы городского транспорта и безопасности его движения, а также безопасного передвижения пешеходов по тротуарам и дворовых территорий.

Важнейшим условием качественного выполнения работ является их своевременность. При несвоевременной уборке выпавший снег под воздействием колес автомобилей уплотняется, а на покрытии образуются накаты, снежные колеи, что значительно ухудшает условия проезда. Несоблюдение установленных сроков удаления снежных валов приводит к образованию снежно-ледяного слоя в основании.

Для того чтобы жизнь города не замедлила темп, приходится производить уборку территории от снежных масс и вывоз снега за город. И

для этих целей широко используется различная снегоуборочная техника - от самоходных компактных снегоуборщиков до бульдозеров и самосвалов.

В настоящее время уборка территории от снежных масс осуществляется в несколько этапов: 1) уборка снега с пешеходных зон и автомагистралей и сваливание снега в придорожные отвалы; 2) погрузка снега в транспортную технику, осуществляющую вывоз снега; 3) вывоз снега за город на специальные площадки или снегоплавильные станции.

Уборка территории от снега происходит с участием техники.

– Самоходные снегоуборщики - наиболее компактный вид снегоуборочной техники. Предназначены для расчистки пешеходных зон от снежных масс на небольших участках: частного сектора, придорожного кафе и т.д. Ручной снегоуборщик счищает снег с тротуаров и непосредственно отбрасывает его в сторону (рис. 1).

– Шнекороторные очистители могут производить при помощи шнекового рабочего органа очистку дорог и автомагистралей от снега и наледи, а также способны перегружать снег из отвалов в самосвалы (рис. 2).

– Широкий ряд погрузочно-уборочных машин с ковшами, гидроповоротными отвалообразователями. Одним из наиболее типичных представителей такой техники являются фронтальные погрузчики – фронтлоадеры (рис. 3).

– Перегрузочные транспортеры при помощи конвейера скребкового типа могут производить уборку территории от снега и погрузку снежных масс в технику, осуществляющую вывоз снега. Они позволяют производить уборку снега «на ходу», двигаясь вдоль дорог одновременно с самосвалом, производить погрузку снега (рис. 4).



Рис. 1. Снегоотбрасыватель



Рис. 2. Амкодор 9531 (ДЗ -226)



Рис. 3. Фронтлоадер

Последним этапом является вывоз снега за черту города на специально обустроенные для этих целей полигоны за чертой города, либо на снегоплавильные станции (рис. 5). Снегоплавильные станции работают по принципу дробильной машины. Талые воды сливаются в систему городской канализации.

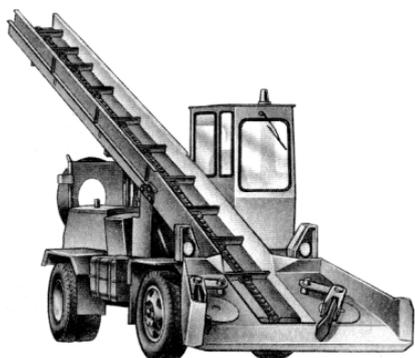


Рис. 4. Перегрузочный транспортер СНП-17



Рис. 5. Установка СТМ-16

Вывоз снега, как правило, осуществляется посредством самосвальной техники. Если оставлять снег в отвалах в черте города, то снег будет впитывать химические вещества из воздуха, отработавших газов автотранспорта, противогололедные реагенты и прочее. При наступлении теплой погоды снег будет активно таять и станет остро проблема талых вод и химического загрязнения.

Для решения данной задачи проектируется установка для таяния снежного покрова на базе автомобиля УАЗ-33036 с допустимым отбором мощности до 40% через коробку отбора мощности. Грузоподъемность автомобиля 1300 кг. В данной установке реализуется инновационная технология уборки снега с одновременным снегоплавлением. Позволит уменьшить эксплуатационные затраты, число операций, повысить качество и своевременность уборки от снега дворов, мест парковки, снизить долю ручного труда в общих трудозатратах.

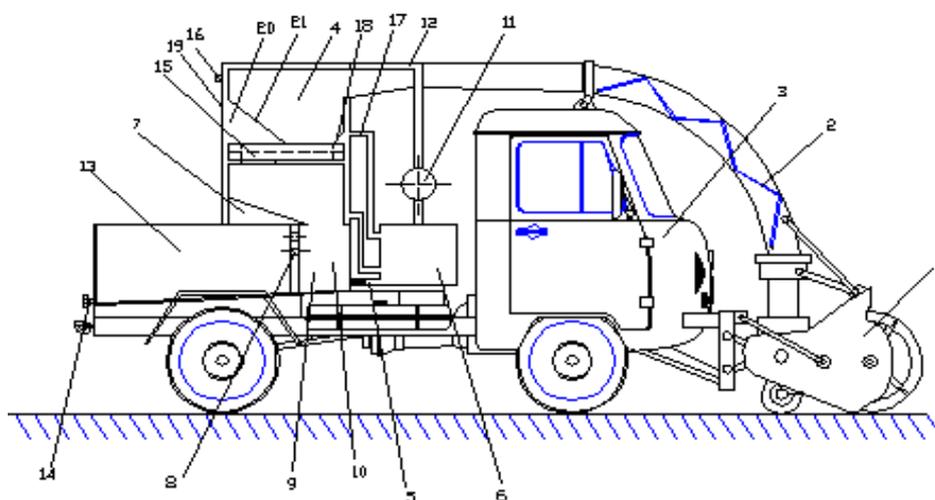


Рис. 6. Снеготаятельная установка на базе УАЗ-33036

Снеготаялка содержит самоходное шасси, на котором установлен шнекороторный питатель 1. Под разгрузочной частью снегоочистителя

расположен отапливаемый бункер 4, состоящий из внутренней стенки 18 и наружной стенки 19, которые образуют обогреваемую полость 20, сообщающуюся с выходным патрубком 16. Из бункера 4 снег попадает на 15 питатель-рыхлитель, а затем на 7 обогреваемую полость системы охлаждения и выходит в грязесборник 9. В боковых стенках грязесборника имеются отверстия 8. Грязесборник 9 проходит через водосборник 13, имеющий сливную горловину 14. Питающий теплообменник 6 по водяной магистрали соединен на входе через патрубок 5, на выходе - с насосом 11 и душевым коллектором 12, по газовой магистрали соединен на входе через патрубок с выпускным патрубком двигателя снеготаялки, на выходе соединен через патрубок 17 с обогреваемой полостью 20 бункера 4.

Снеготаялка работает следующим образом.

Отработавшие газы работающего двигателя УАЗ-33036 через патрубок попадают в теплообменник 6, в котором отдают часть тепла на нагрев воды. Пройдя теплообменник 6 и патрубок 17, отработавшие газы попадают в обогреваемую полость 20 бункера 4. Проходя через полость 20, эти газы нагревают внутреннюю стенку 21 бункера 4 и через патрубок 16 выходят в атмосферу. Одновременно насос 11 прокачивает воду через теплообменник 6, где она нагревается от отработавших газов двигателя снеготаялки и подает ее в душевой коллектор 12. Стекая по внутренней стенке 21 бункера 4, вода попадает в грязесборник 9 и через отверстия 8 в боковой поверхности попадает в водосборник 13, где скапливается в его нижней части у сливной горловины 14.

При движении снеготаялки масса снега или льда подается питателем 1 и транспортером 2 в бункер 4. Так как стенка 21 бункера нагрета отработавшими газами двигателя, снег начинает подтаивать и сползать по наклонным стенкам 21 бункера 4 из которого на снежную массу подается подогретая вода. В струях воды происходит интенсивное таяние снежной массы. Дорожная грязь, скапливается в грязесборнике 9 и потом удаляется. Крупные фракции дорожной грязи остаются в бункере 4. Талая вода попадает в грязесборник 9 и через отверстия 8 в водосборник 13. Из водосборника 13 вода сливается через горловину 14. Конструкция предлагаемой снеготаялки по сравнению с конструкцией прототипа заметно проще. Уменьшение в ней количества используемых подвижных механизмов и обслуживающих агрегатов повышает надежность ее работы и снижает эксплуатационные расходы. Отсутствие в снеготаялке теплогенератора, который в прототипе используется для нагрева воды, позволяет экономить топливо для обеспечения его работы, снижая, таким образом, стоимость уборки снега с дорожных покрытий.

Потребная мощность снегоочистителя составит 8.2 кВт при производительности снегоочистителя $48.6 \text{ м}^3/\text{ч}$ (эксплуатационная $43.2 \text{ м}^3/\text{ч}$), плотности снежного покрова $200 \text{ кг}/\text{м}^3$, толщине снежного покрова 0.2 м, рабочей скорости снегоочистителя 0.14 м/с. Рассчитаны: условия производительности снегоочистителя опираясь на роторный разгон; тяговый расчет машины, в зависимости от сил тяги по сцеплению, потребной силы тяги; тепловой расчет установки исходя из процесса снетотаяния снега и заполнения бункера; теплоизоляция емкости и установки негорючим материалом толщиной не менее 0.098м. Подобраны материалы и способы крепления кронштейна снетотаятельной установки к раме автомобиля, оборудование для уборки снега с поверхности земли, для рыхления снега в бункере установки, гидравлическая станция, проточный котел.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПП РуссПромАльянс [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://sngpro.ru>.
2. ЗАО «ВНИИСтройдормаш» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: <http://snega.net.ru/company>.
3. Пат. 2495187 Российская Федерация, МПК Е 01 Н 5/00. Технология уборки городских улиц и внутри дворовых территорий от снега / А. О. Баркалов; заявитель и патентообладатель А. О. Баркалов - 2011146941/13; заявл. 21.11.2011; опубл. 10.10.2013.
4. Пат. 2470109 Российская Федерация, МПК Е 01 Н 5/10. Снетотаялка / О. Г. Морозов, Г. А. Морозов, А. Б. Берко [и др.]; патентообладатель ГОУ ВПО Казанский ГТУ им. Туполева. - № 2011128174/13; заявл. 07.07.2011; опубл. 20.12.2012.

СХЕМОАНАЛИЗ В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Ф. Булавин, Т.Г. Булавина

Россия, Вологодский государственный университет

Схемотехническая реализация метода конечных элементов (МКЭ) предполагает определение параметров конечного элемента (КЭ) как многополюсника с дальнейшим формированием уравнений связи между переменными, характеризующими состояние всех КЭ, методами расчета электрических цепей. Свойства дискретной электрической модели должны со стороны внешних зажимов быть эквивалентны состоянию отдельных подобластей. Основным вопросом при таком подходе явля-

ется способ определения параметров КЭ как элемента электрической цепи.

Вопросы взаимосвязи схмотехники и МКЭ доведены до логически завершеного результата в [1], где были построены электрические схемы замещения широкого набора КЭ для эллиптических уравнений. Однако результатами этих работ являлись модели, представленные как единственные. Отличительная особенность данной статьи состоит в том, что на примере линейных элементов показано многообразие схемных решений, а также сняты все ограничения по форме КЭ, что позволяет расширить практику применения “тонких” фрагментов.

Пусть на плоскости задана неоднородная область D , ограниченная контуром ∂D , поле в которой описывается через скалярную функцию $\varphi(N)$. Требуется найти решение, удовлетворяющее уравнению:

$$\operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} \varphi) = -\rho(N); \quad N(x, y) \in D; \quad \varphi|_{\partial D} = \varphi(M(\eta, \xi)), \quad (1)$$

где μ – физический параметр, характеризующий свойства среды.

Численное решение требует триангуляции области D на КЭ. Для произвольного фрагмента примем локальную систему координат как показано на рисунке 1 и рассмотрим построение конечно-элементной схемы на базе формулы Грина. Допустим, что среда в пределах КЭ является однородной и построим схмотехническое решение с помощью интегрального соотношения:

$$(2\pi)\varphi(N) = \int_{\partial D} \frac{\partial \varphi(M)}{\partial n} \ln\left(\frac{1}{R_{NM}}\right) dl - \int_{\partial D} \varphi(M) \frac{\partial}{\partial n} \ln\left(\frac{1}{R_{NM}}\right) dl + \int_D \frac{\rho(M)}{\mu} \ln\left(\frac{1}{R_{NM}}\right) dS;$$

$$R_{NM} = \sqrt{(\eta - x)^2 + (\xi - y)^2}; \quad N(x, y) \in D.$$

Аппроксимируя скалярную функцию вдоль сторон треугольника линейными зависимостями, выполним интегрирование в квадратурах контурных интегралов с использованием трех локальных систем координат, ориентированных вдоль сторон треугольника. Логистика промежуточных преобразований направлена на использование фундаментальных теорем теории поля. Окончательно приходим к результату (без учета распределенных поверхностных источников поля в контуре КЭ) в виде:

$$(\gamma + \beta + \alpha)\bar{\varphi}(N) = \bar{\varphi}_1(x, y) \times \gamma + \bar{\varphi}_2(\eta_b, \xi_b) \times \beta + \bar{\varphi}_3(\eta_a, \xi_a) \times \alpha, \quad (2)$$

где γ, β, α – углы, под которыми из точки $N(x, y) \in D$ видны отрезки интегрирования (рис.1), а $\bar{\varphi}_k$ – линейные базисные функции.

Таким образом, подпространство линейных базисных функций симплекс-элемента представлено тремя базисными функциями, коэффициенты которых определяются из граничных условий.

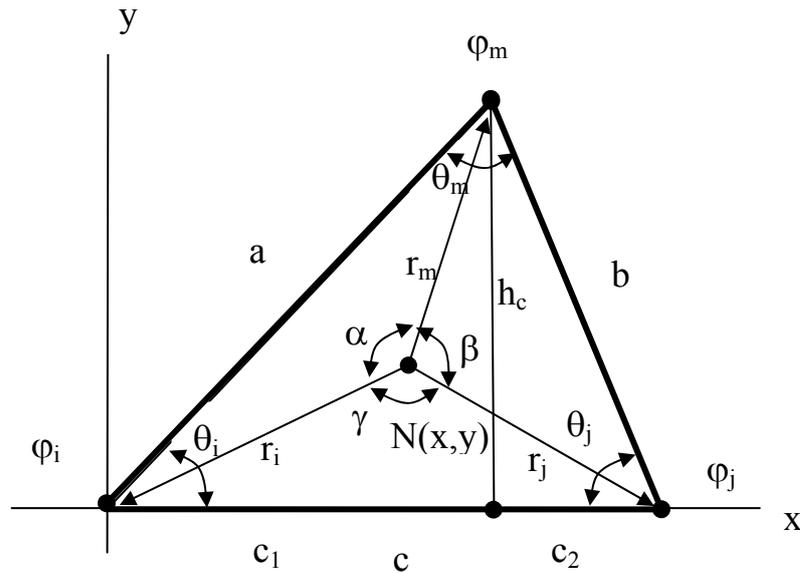


Рис. 1

В условиях допущений о линейных свойствах среды КЭ ($\mu = \text{const}$) и при $\rho = \text{const}$ учет распределенных источников поля приводит к необходимости дополнительно решения краевой задачи:

$$(2\pi)\varphi(N) = \int_{\partial D} \frac{\partial \varphi(M)}{\partial n} \ln\left(\frac{1}{R_{NM}}\right) dl + \int_D \frac{\rho(M)}{\mu} \ln\left(\frac{1}{R_{NM}}\right) dS; \quad (3)$$

$$\varphi|_{\partial D} = 0; R_{NM} = \sqrt{(\eta - x)^2 + (\xi - y)^2}; N(x, y) \in D.$$

Для произвольной точки $N(x, y) \in D$ тривиальный ответ $\varphi(x, y) = 0$ может быть получен, если принять решение в виде:

$$\left(-\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial n}\right)\Big|_c = \lambda_1 \frac{\rho}{2\mu} h_c; \quad \left(-\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial n}\right)\Big|_b = \lambda_2 \frac{\rho}{2\mu} h_b; \quad \left(-\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial n}\right)\Big|_a = \lambda_3 \frac{\rho}{2\mu} h_a, \quad (4)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – весовые коэффициенты, такие что $\lambda_i > 0$; $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$.

Последний вывод позволяет записать полное решение (2) при наличии распределенных источников поля в контуре КЭ. Окончательный результат следует рассматривать как решение для симплекс-элемента на основе формулы Грина. Структура решения (2) показывает, что силу произвольного выбора точки $N(x, y)$ следует рассматривать как суперпозицию частных решений, полученных в трех локальных системах координат, связанных со сторонами КЭ.

Конечно-элементная практика расчетов при математическом описании состояния каждого КЭ строится на базе использования только одной из трех базисных функций $\bar{\varphi}_k$. Учет распределенных поверхно-

стных источников поля следует проводить, вводя в базисную функцию $\bar{\varphi}_k$ слагаемое вида $\frac{\rho S}{2\pi\mu}$.

Логистика решения и преобразований позволяют, используя принцип аналогий, сгенерировать схмотехнические модели симплекс–элемента в терминах узлового анализа электрических цепей [1]. Матрица жесткости КЭ (матрица неопределенных узловых проводимостей) схмотехнической модели симплекс–элемента принимает вид:

$$k = \mu \begin{vmatrix} \left(\frac{y}{c} + \frac{\xi_a}{a}\right) & \left(-\frac{y}{c}\right) & \left(-\frac{\xi_a}{a}\right) \\ \left(-\frac{y}{c}\right) & \left(\frac{\xi_b}{b} + \frac{y}{c}\right) & \left(-\frac{\xi_b}{b}\right) \\ \left(-\frac{\xi_a}{a}\right) & \left(-\frac{\xi_b}{b}\right) & \left(\frac{\xi_a}{a} + \frac{\xi_b}{b}\right) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (g_{im} + g_{ij}) & -g_{ij} & -g_{im} \\ -g_{ji} & (g_{ji} + g_{jm}) & -g_{jm} \\ -g_{mi} & -g_{mj} & (g_{mi} + g_{mj}) \end{vmatrix} \quad (5)$$

Параметры компонентов схемы замещения определяются из (5) и вычисляются на единицу длины в осевом направлении. Выполнение эквивалентных преобразований приводит к T–образной схеме замещения КЭ с соответствующими параметрами, причем эта операция осуществляется относительно точки $N(x, y) \in D$.

Предлагаемая концептуальная электротехническая модель в пространстве GJ ветвей [1] справедлива для произвольного шаблона области D. Найденный результат позволяет сформулировать утверждение: схмотехническая модель линейного конечного элемента поле, в котором описывается через скалярную функцию $\varphi(N)$, удовлетворяющую уравнению (1), континуальна.

Доказательство положения опирается как на факт непрерывной зависимости элементов схемы замещения от координат, так и на то, что все точки $N(x, y) \in D$ КЭ образуют множество, мощность которого определяется как континуум. При этом поскольку в качестве точки $N(x, y) \in D$ может служить любая, кроме узловых, то и число матриц неопределенных узловых проводимостей и, следовательно, схмных решений также образует множество мощностью континуум. Очевидно, что при указанном подходе *матрицы жесткости симплекс–элемента (матрицы неопределенных узловых проводимостей) имеют неклассическую форму как по виду, так и по содержанию*. Для определенности укажем две точки – центр тяжести треугольника и центр окружности, вписанной в треугольник, – принятые в качестве центра для построения матрицы жесткости, которые дадут результат, позволяющий в процессе

реализации МКЭ снять любые ограничения по форме КЭ и тем самым расширить возможности МКЭ [2,3].

Ансамблирование глобальной матрицы жесткости при схемотехническом подходе может быть осуществлено методами теории электрических цепей. Такие алгоритмы формирования уравнений [1] позволяют сформировать матрицу состояния с последующим решением на основе выбранного метода. Отметим, что такое важное свойство глобальной матрицы жесткости, как степень разреженности, не ухудшается.

Выводы:

1. Интегральное тождество дает возможность получать семейство схемотехнических решений для КЭ, часть из которых имеет нестандартные матрицы жесткости.

2. Распространение аналогичного подхода к трехмерным полям для КЭ типа тетраэдр предполагается.

3. При схемотехнической реализации МКЭ аппроксимация граничных условий легко связывается с алгоритмом формирования глобальной матрицы жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шакиров, М.А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. Декомпозиционные алгоритмы./ М.А. Шакиров. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2001. –212 с.

2. Булавин, В.Ф. Метод конечных элементов: возможность применения симплекс-элементов произвольной формы. // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта: материалы 7-й Международной научно-технической конференции. - Вологда: ВоГТУ, 2013. -243 с.

3. Булавин, В.Ф. Метод конечных элементов и выбор линейной базисной функции. // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы 8-й Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГТУ, 2013. -264 с.

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ И ИХ СОПОСТАВИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

**А.Л. Галиновский, В.А. Моисеев, М.И. Абашин,
М.В. Хафизов, А.С. Проваторов**

*Россия, Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана*

В настоящее время в машиностроении, авиа- и ракетостроении, судостроении и других отраслях промышленности все активнее используются наноструктурированные износостойкие покрытия. Им отводится значимое место в решении ряда актуальных проблем совершенствования технических изделий, повышения их надежности, увеличения ресурса, снижения себестоимости эксплуатации и т.д. Одними из самых распространенных являются технологии нанесения покрытий методами конденсации и химического осаждения из паровой (газовой) фазы. В России и за рубежом существует ряд научных школ, занимающихся вопросами создания, совершенствования и применения такого рода покрытий, однако вопросы диагностики их качества остаются в недостаточной степени изученными.

Несмотря на кажущееся многообразие методов диагностики покрытий все они обладают рядом недостатков, прежде всего, связанных с невозможностью оценить устойчивость покрытия к действию внешних знакопеременных нагрузок, имеющих волновой нестационарный характер.

При рассмотрении имеющегося опыта по оценке физико-механических характеристик поверхностного слоя материалов и изделий с использованием информации о параметрах его гидроэрозии в результате воздействия высокоскоростной струи жидкости [1] возникло гипотетическое предположение о возможности использования данной научно-практической идеи для изучения параметров покрытий, прежде всего имеющих малую толщину.

Несмотря на то что методологическая база ультразвуковой диагностики (УСД) имеет ряд близких и общих элементов, сам алгоритм ее применения и инженерная методика должны быть существенно адаптированы, дополнены, а в некоторых случаях и кардинально пересмотрены в зависимости от решаемой технологической задачи. Таким образом, цель исследования состоит в разработке методик УСД износостойких покрытий, а задачами являются построение алгоритма диагностики, определение числа информативных параметров, выбор технологических режимов воздействия, разработка

упрощенных математических моделей, выдача практических рекомендаций по использованию предложенной методики.

В соответствии с поставленной целью и сформулированными задачами был разработан методический план проведения исследований, состоящий из шести ключевых этапов:

- нанесение покрытия на специально изготовленные образцы;
- проведение усталостных испытаний;
- гидроструйная диагностика покрытий, измерение глубины гидрокаверн с помощью профилометра-профилографа;
- морфологического анализ поверхностного слоя образцов;
- проведение сопоставительных испытаний по скрайбированию поверхности образцов с помощью высокотвердого индентора.

В данной работе для проведения экспериментов использовались тонкие износостойкие покрытия на основе нитрида титана (TiN), карбонитрида титана (TiCN) и алмазоподобные (DLC), нанесенные на подложку из слаболегированной стали 08X18H10 методом ионно-плазменного осаждения (табл. 1). Следует сказать, что данные покрытия были нанесены на образцы, изготовленные по соответствующему стандарту (ГОСТ 25.502) для проведения усталостных испытаний на специально разработанной для этих целей установке. На следующих этапах исследования была проведена серия усталостных испытаний образцов и осуществлено моделирование данного процесса методом конечных элементов (МКЭ).

Таблица 1

Характеристики экспериментальных покрытий

Основа	Микротвердость до, ГПа	Толщина, мкм	Коэф. трения	Макс. рабочая температура, °С	Цвет
TiN	24	4	0.55	600	золотой
TiCN	37	3	0.3	400	сине-серый
DLC	40	3	0.1	450	серый

Усталостные испытания проводились по следующему алгоритму: первый образец испытывался до образования макротрещины на образце (или его разрушения), число циклов нагружения N фиксировалось счетчиком импульсов, затем число циклов для каждого последующего образца уменьшалось на 25%. Таким образом, были получены образцы, прошедшие известное число циклов нагружения.

Процесс усталостных испытаний был смоделирован МКЭ. При разработке математической модели в ее основу была положена объёмная модель стандартного образца для испытаний. На модель были наложены граничные условия, имитирующие те, которые использовались при проведении усталостных испытаний. Один конец пластинки был зафиксирован по всем степеням свободы, на расстоянии 38 мм от другого конца было приложено перемещение 3,4 мм в виде симметричного цикла.

Согласно проведённому расчёту максимальные напряжения для данных граничных условий составляют в образце 610 МПа, т.е. превышают напряжения текучести для стали 250 МПа и предел прочности 450 МПа с коэффициентом запаса по текучести 0,4. В результате получения полей напряжений были определены координаты расположения реперных аналитических точек 1, 2 и 3, где первая точка – точка максимальных напряжений, вторая точка – точка средних значений и третья точка – область, практически не подверженная усталостной нагрузке.

Все образцы, прошедшие усталостные испытания, были подвержены процедуре УСД по известной методике [3]. При изучении гидрокаверн по длине образца в реперных точках 1, 2 и 3, расположенных на одинаковом удалении друг от друга с заданным интервалом, было установлено, что растрескивание и отслоение нанесенного покрытия от подложки было наиболее характерно выражено в месте сосредоточения наибольших напряжений.

Самостоятельный интерес представляет сравнение данных морфологии поверхности покрытий с результатами измерения глубины гидрокаверн. Видно, что с увеличением числа циклов уменьшается глубина гидрокаверны в связи с выработкой пластичности материала и повышением твердости. При этом с приближением к реперной точке 1 (точке максимальных напряжений) глубина уменьшается интенсивнее. Однако для числа циклов нагружения, приближающегося к критическому (N), в той же зоне наблюдается увеличение глубины. Это связано с ухудшением адгезии частиц покрытия, их растрескиванием, образованием более мелких. При взаимодействии с высокоскоростной струей жидкости (~ 800 м/с) частицы покрытия выступают в роли своеобразного абразивного материала, лежащего на поверхности образца. По сути это приводит к эффекту воздействия на поверхность высокотвердых инденторов, внедряющихся в основной материал и увеличивающих глубину гидрокаверны.

Помимо определения геометрических параметров гидрокаверны, представляет интерес вид профилограмм. Из сопоставительного

изображения можно сделать вывод, что данный подход позволяет оценить состояние покрытия после УСД, установить наличие или отсутствие его фрагментов в месте взаимодействия ультразвука с поверхностью, определить места отрыва покрытия от подложки «вспучивание» или оценить уровень адгезии.

В целом из анализа полученных данных можно сказать, что покрытия выполняют свою заметную роль в обеспечении увеличения продолжительности времени эксплуатации изделий, увеличивают их ресурс. Элементы методики, предложенной в данном эксперименте, после доработки могут быть использованы для выбора рациональных режимов нанесения покрытий, выбора материала покрытия и подложки. В ближайшее время ее доработка будет проходить в направлении расширения сегмента анализируемых покрытий и вариации их технологии нанесения на образцы, а также варьирования ряда физико-механических характеристик подложки. Следует предположить, что в результате проведенных экспериментальных исследований будут выработаны практические рекомендации по реализации алгоритма диагностики в производственных условиях, в частности для этапа технологической подготовки производства.

Данное исследование проводилось в рамках гранта РФФИ №12-08-33022 мол_а_вед «Разработка теоретических основ гибридной диагностики материалов и технологических покрытий».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абашин М.И., Галиновский А.Л., Сгибнев А.В. Технологическое обеспечение процедуры ускоренного определения параметров качества поверхностного слоя материала изделий ракетно-космической техники. Известия высших учебных заведений. Машиностроение.- № 3. - С. 73-79
- 2 Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. С. 479—483.
- 3 Барзов А.А., Галиновский А.Л. Технологии ультразвуковой обработки и диагностики материалов - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 246 с.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПРОКАТЧИКОВ ЧЕРЕПОВЕЦКОГО ГО- СУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА (2000-2013 ГГ.)

Э.А. Гарбер

Россия, Череповецкий государственный университет

1. Постановка задачи

Металлургические технологии сегодня по праву считаются наукоёмкими, т.к. их прогресс основан на результатах теоретических решений, проверенных в промышленных условиях.

Проиллюстрируем это утверждение на примере развития современного листопрокатного производства, в котором активно участвует научно-педагогическая школа «Теория, оборудование и технология процессов прокатки», действующая при Череповецком государственном университете.

В развитии листопрокатного производства России в последние десятилетия проявились следующие характерные тенденции:

1) Рост требований к показателям качества тонких листов (механическим свойствам, точности размеров, плоскостности, чистоте поверхности).

2) Необходимость экономии всех видов ресурсов, уменьшения себестоимости продукции.

Под воздействием этих тенденций в сортаменте, технологии и оборудовании действующих широкополосных станов произошли большие изменения. К их числу относится уменьшение освоенной толщины как горячекатаных, так и холоднокатаных полос.

На ряде широкополосных станов горячей прокатки освоили производство стальных полос толщиной до 0,8-1,2 мм, ранее относившихся к сортаменту широкополосных станов холодной прокатки.

На широкополосных станах холодной прокатки, предназначенных для производства холоднокатаных полос толщиной до 0,5 мм автомобильного и конструкционного сортамента, освоили прокатку полос толщиной до 0,2-0,3 мм, не предусмотренных паспортными характеристиками этих станов, с жесткими допусками по разнотолщинности и плоскостности.

Указанные изменения сортамента привели к возникновению ряда проблем в эксплуатации действующих станов. Отметим наиболее существенные из этих проблем.

1) Чтобы выполнить возросшие требования к точности размеров и плоскостности полос, возникла необходимость увеличения точности

расчета режимов прокатки. Эти расчеты основывались на методах теории прокатки, разработанных в 40^х-70^х годах 20 века применительно к сортаменту и технологии того периода.

2) Уменьшение освоенной толщины полос привело к росту обжатий на действующих станах, что вызвало увеличение сил прокатки и расхода энергии, при этом в ряде случаев нагрузка на узлы рабочих клетей и мощность двигателей главного привода повысилась до значений, не предусмотренных паспортными характеристиками оборудования. Необходимо было проанализировать точность классических методов энергосилового расчета, оценить их пригодность для изменившихся условий работы станов. Это связано с тем, что при прокатке тонких полос в очагах деформации рабочих клетей, наряду с пластическими зонами, имеются упругие участки, причем с уменьшением толщины полосы протяженность упругих участков увеличивается. В большинстве известных методик при расчете контактных напряжений в упругих участках используется уравнение пластичности [1, 2], то есть не учитывается тот факт, что это уравнение применимо только для пластической зоны очага деформации.

Данные о том, какую погрешность вносит в энергосиловой расчет допущение о применимости уравнений пластичности к упругим участкам очага деформации, в литературе отсутствовали. Между тем при горячей прокатке наиболее тонких полос длина упругих участков достигает 18-30%, а при холодной прокатке - 50 % и более от общей длины очага деформации, поэтому данный вопрос в новых условиях приобрел большую актуальность.

3) Нуждались в анализе и уточнении методики учета напряжений контактного трения в очагах деформации. В большинстве известных методов энергосилового расчета станов горячей прокатки не учитывалось то обстоятельство, что преобладающую часть длины очагов деформации в рабочих клетях этих станов занимает зона прилипания, в которой контактные напряжения, сила и мощность прокатки зависят не от коэффициента трения, а от сопротивления сдвигу материала полосы.

На станах холодной прокатки, где зоны прилипания отсутствуют, практически все наиболее распространенные формулы, используемые в энергосиловых расчетах, не учитывали значительное влияние на величину коэффициентов трения предела текучести полосы и его наклепа вследствие обжатия.

В сумме из-за всех указанных причин погрешности энергосиловых расчетов процессов прокатки наиболее тонких полос достигали 30-40% и более. Мы убедились в этом, обработав сотни данных о пара-

метрах прокатки, полученных из АСУТП действующих широкополосных станов.

Решать задачи повышения качества тонких полос и совершенствования технологии широкополосных станов с использованием методик энергосилового расчета, дающих такие большие погрешности, было невозможно.

2. Новые решения в теории и технологии тонколистовой прокатки

Начиная с 2000 года, ученые Череповецкого государственного университета совместно со специалистами предприятий выполнили комплекс теоретических, экспериментальных и промышленных исследований процессов горячей и холодной прокатки на широкополосных станах. Теоретические исследования велись путем разработки математических моделей взаимосвязанных технологических, конструктивных и энергосиловых параметров широкополосных станов, базирующихся на аналитических методах механики сплошной среды, теорий упругости и пластичности. В развитие этих научных положений для решения ряда задач теории и технологии прокатки мы применили численные методы, в частности метод конечных элементов.

Наиболее существенные новые положения разработанных моделей в кратком изложении состоят в следующем:

1) Напряжения в очаге деформации рабочей клетки широкополосного стана определяют отдельно на каждом участке.

2) На упругих участках, вместо условия пластичности, для расчета напряженного состояния полосы используют уравнения упругости.

3) Достоверно определяют протяженности всех упругих и пластических участков, а также координату границы между зонами отставания и опережения (нейтрального сечения).

4) Найдены статистически достоверные алгоритмы и численные значения коэффициентов трения и напряжений трения в очагах деформации, учитывающие специфику контактных условий горячей и холодной прокатки.

5) При расчете затрат энергии доказано, что валки совершают полезную работу только в зоне отставания и только касательными силами, а в зоне опережения полоса возвращает валкам часть затраченной энергии.

6) При расчете момента и мощности двигателей главного привода рабочих клеток отказались от эмпирических коэффициентов и достоверно определяли затраты энергии на вращение холостого опорного валка, в том числе их основную часть - потери на трение качения.

Математические модели, основанные на указанных новых положениях, обеспечили выполнение расчетов усилий и мощности прокатки

со средней погрешностью 5-7% относительно фактических усилий и мощностей, что в 3-4 раза меньше, чем при расчетах по известным методикам.

7) Для повышения точности размеров тонких полос до уровня мировых стандартов, улучшения качества их поверхности и экономии энергозатрат, в методику расчета технологических режимов прокатки внесены следующие новые положения:

- научно обоснованное разделение допусков на продольную и поперечную разнотолщинность, позволяющие выдержать в жестком поле допуска колебания толщины по всей площади полосы;

- математические модели разнотолщинности и плоскостности полос, вычисляемых в функции значимых факторов технологии прокатки;

- алгоритмы оптимизации режимов прокатки по критериям: «минимальная разнотолщинность», «минимальный расход энергии», «минимальное загрязнение поверхности полосы»; «минимальная неплоскостность».

Подробные описания всех упомянутых выше разработок опубликованы в работах [3...7].

3. Практическое применение теоретических разработок

Применение новых теоретических положений и математических моделей позволило получить ряд практически значимых технических результатов. Наиболее существенные из них указаны ниже.

- 1) Впервые получены математические выражения для соотношений между силами, действующими на узел рабочих валков, исключая резонансные вибрации в рабочей клети. Внедрение этой разработки на 5-клетевом стане «1700» ОАО «Северсталь» исключило вибрационные процессы в рабочих клетях, за счет чего в 2 раза снизилась отсортировка холоднокатаных листов по дефекту «ребристость», исключен дефект «полосы нагартовки» и увеличена рабочая скорость стана с 10-12 м/с до 18-20 м/с.
- 2) На 4-клетевом и 5-клетевом станах холодной прокатки «1700» выполнен комплекс исследований влияния положения нейтральных сечений в рабочих клетях на чистоту поверхности холоднокатаных полос и на расход энергии.

В результате испытаний достоверно установлено, что сдвиг нейтрального сечения в рабочей клети вперед по ходу прокатки уменьшает количество загрязнений на полосе, а сдвиг в противоположную сторону уменьшает расход энергии при прокатке. На основании этих результатов внедрена в производство новая технология, позволившая значительно улучшить чистоту поверхности полос и снизить расход энергии на 2-4 %.

- 3) На листовых станах ОАО «Северсталь» установлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на разнотолщинность и неплоскостность полос, разработаны и внедрены технологические режимы, уменьшившие отсортировку по этим дефектам в 1,5 - 2 раза.

В общей сложности за период 2000-2013 г.г. по изложенным результатам исследований и разработок членами научной школы прокатчиков ЧГУ опубликовано 8 авторских монографий (в том числе – одна коллективная монография издана в 2009 г. в США, причем в международном составе авторов Россия представлена только тремя нашими представителями), более 50 статей опубликовано в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах, получено несколько патентов на изобретения, сделано более 20 докладов на международных конференциях в Германии, США, Японии, Китае, Франции, Великобритании, Венгрии, Болгарии, Италии, Москве, Санкт-Петербурге, Липецке, Череповце и Вологде.

Изложенные данные свидетельствуют о том, что научная школа прокатчиков ЧГУ является одной из ведущих в России и пользуется авторитетом у зарубежных специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. – М.: Металлургия.- 1070.- 356с.
2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. - М.: Металлургия.- 1980. – 320с.
3. Гарбер Э.А., Шадрунова И.А. Энергосиловые параметры процесса холодной прокатки полос толщиной менее 0,5 мм // Производство проката.- 2002. – №3. – С. 13-18.
4. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология).- М.: Институт «Черметинформация», Череповец: ЧГУ.- 2004.- 416с.
5. Гарбер Э.А. , Кожевникова И.А., Тарасов П.А. Расчет усилий горячей прокатки тонких полос с учетом напряженно-деформированного состояния в зоне прилипания очага деформации . // Производство проката.- 2007.- №4.- С. 7-15.
6. Гарбер Э.А., Самарин С.Н., Ермилов В.В. Определение затрат энергии на трение качения в клетях «кварто». // Производство проката.- 2007.- № 2.- С.25-32.
7. Кожевникова И.А., Гарбер Э.А. Производство проката. Том1. Книга 2. Развитие теории тонколистовой прокатки для повышения эффективности работы широкополосных станов.- М.: «Теплотехник».-2010.- 274с.

ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕССИРОВОЧНЫХ СТАНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ

Э.А. Гарбер, М.А. Тимофеева

Россия, Череповецкий государственный университет

Е.В. Дилигенский, И.А. Дятлов

Олссия, ОАО «Северсталь», г. Череповец

Уменьшение затрат энергии при эксплуатации агрегатов листо-прокатного производства – одно из важных направлений повышения конкурентоспособности их продукции. Большинство исследований в этом направлении касалось непрерывных станов горячей и холодной прокатки [1; 2]. В данной статье изложены результаты анализа факторов, влияющих на энергоэффективность одноклетевых дрессировочных станов, занимающих важное место в технологическом процессе производства холоднокатаных листов. От дрессировки во многом зависит их качество, в том числе способность к глубокой вытяжке при штамповке, без разрушения или появления линий сдвига.

Особенно это актуально для холоднокатаных полос из углеродистой автомобильной стали, которые дрессируют после отжига с относительными обжатиями 0,5-1,5%, что в 20-30 раз меньше частных обжатий в рабочих клетях станов холодной прокатки.

Для анализа факторов, влияющих на расход энергии при дрессировке, необходимо иметь достоверную модель энергосиловых параметров дрессировочного стана. Использовать модель, применяемую в расчетах этих параметров на станах холодной прокатки [1; 2], невозможно в связи с двумя существенными различиями напряженно-деформированного состояния (НДС) полосы при прокатке и дрессировке [3].

Первое различие состоит в том, что при обжатиях 0,5-1,5% и диаметре бочки рабочих валков 500-600 мм длина очага деформации дрессировочной клетки составляет 1,5-4,5 мм, а угол захвата $1,0-1,5^{\circ}$, причем больше половины длины очага деформации занимают упругие участки. В таких условиях проскальзывание полосы относительно бочки валков, имеющей шероховатую поверхность, вряд ли возможно, т.е. основной вид трения в очаге деформации дрессировочной клетки – трение покоя, а это значит, что практически всю длину очага деформации занимает зона при-

липания, в то время как на станах холодной прокатки преобладающий вид контактного трения – скольжение, а зона прилипания отсутствует.

Второе различие состоит в закономерностях изменения сопротивления деформации (условного предела текучести $\sigma_{0,2}$) по длине очага деформации. В отличие от холодной прокатки, где происходит постепенное увеличение $\sigma_{0,2}$ по мере роста суммарного обжатия, в диапазоне обжатий процесса дрессировки 0,5-1,5% имеет место уменьшение $\sigma_{0,2}$ (с минимумом при обжатиях 0,3-0,8%), и лишь при увеличении обжатия свыше 0,8% значения $\sigma_{0,2}$ начинают постепенно расти.

Учитывая указанные различия НДС полосы при холодной прокатке и дрессировке, мы разработали модель энергосиловых параметров дрессировочного стана, первый вариант которой был опубликован в статьях [2; 3], а в процессе дальнейших исследований внесли в него ряд уточнений, сокративших расхождения между рассчитанными и измеренными значениями удельного расхода энергии.

Основные положения уточненной модели в кратком изложении состоят в следующем.

1. Усилие и мощность процесса дрессировки рассчитывают через нормальные и касательные напряжения в очаге деформации, которые в свою очередь вычисляют по методике, предложенной А.И. Целиковым в его классических трудах по теории прокатки – путем совместного решения уравнения равновесия полосы, уравнения, выражающего закон контактного трения, и уравнения предельного состояния материала полосы.

2. В методику А.И. Целикова внесены следующие уточнения, учитывающие отмеченную выше специфику НДС полосы в очаге деформации дрессировочного стана:

- контактные напряжения рассчитывают отдельно на каждом упругом и пластическом участке, причем на упругих участках вместо условия пластичности используется уравнение упругости, основанное на законе Гука;

- определяют границы всех участков очага деформации: упругого сжатия полосы, зон отставания и опережения пластического участка, упругого восстановления части толщины полосы; при этом в связи с условиями трения покоя окружную скорость бочки валков сравнивают со средней по сечению скоростью полосы;

- на упругих участках принято линейное изменение сопротивления деформации: на первом – от нуля до исходного значения $\sigma_{0,2}$ после отжига, на втором – от значения $\sigma_{0,2}$ в конце пластического участка до нуля;

На пластическом участке принята следующая зависимость условного предела текучести от относительного обжатия ε , полученная путем аппроксимации фактических графиков изменения $\sigma_{0,2}$ при обжатиях 0-5%:

$$\sigma_{0,2}(\varepsilon) = \sigma_{0,2исх.} + A_1\varepsilon^3 + A_2\varepsilon^2 + A_3\varepsilon . \quad (1)$$

Коэффициенты A_1, A_2, A_3 , входящие в выражение (1), зависящие от пластических свойств материала полосы, для малоуглеродистых сталей представлены в таблице 1.

Среднее значение $\sigma_{0,2}$ на пластическом участке получено путем интегрирования выражения (1):

$$\sigma_{0,2cp} = \sigma_{0,2исх} + \frac{A_1}{4}\varepsilon^3 + \frac{A_2}{3}\varepsilon^2 + \frac{A_3}{2}\varepsilon . \quad (2)$$

Таблица 1

Эмпирические коэффициенты зависимостей $\sigma_{0,2}(\varepsilon)$ для сталей с содержанием углерода $C \leq 0,4\%$

Толщина полосы, мм	A_1	A_2	A_3
$h_0 \leq 1$	-154,88	125,47	-25,11
$h_0 > 1$	-89,54	73,98	-14,55

3. Специфика процесса трения при дрессировке привела к необходимости разработки уточненной методики определения напряжений трения в очаге деформации дрессировочного стана. Это связано с тем, что одна из задач дрессировки как заключительной отделочной операции – придание поверхности полосы заданной шероховатости, регламентированные значения которой устанавливают в зависимости от назначения готовых полос в диапазоне $R_a=0,4-1,6$ мкм и более. При этом для каждого заданного диапазона R_a полосы используют рабочие валки с различной шероховатостью в соответствии с нормативами, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Нормативы шероховатости бочки рабочих валков в зависимости от требуемой шероховатости дрессируемой полосы

Заданная шероховатость, R_a , мкм	
полосы	валков
0,4 – 0,6	$\leq 0,63$
0,7 – 1,2	1,5 – 2,0
1,2 – 1,6	2,5 – 3,0
Свыше 1,6	3,8 – 4,4

В этих условиях учет напряжений контактного трения в очаге деформации затруднен в связи с тем, что на входе в валки холоднокатаная

полоса после отжига в колпаковых печах имеет шероховатость поверхности не менее 1,1 мкм, обеспечиваемую на выходе из последней клетки стана холодной прокатки, чтобы предотвратить слипание витков рулона во время отжига. Следовательно, при движении полосы через очаг деформации дрессировочного стана ее шероховатость в большинстве случаев изменяется.

Исходя из этого, для повышения точности энергосилового расчета нами принято решение отказаться от усреднения коэффициентов трения покоя по всей длине очага деформации дрессировочного стана и усреднять их отдельно на каждом участке.

Для получения новых формул коэффициентов трения на каждом участке очага деформации создали базу данных, содержащую информацию о 41 фактическом режиме дрессировки на одном из действующих дрессировочных станов.

Методом имитационного моделирования подбирали такие значения коэффициентов трения, при которых расхождения фактических значений мощности дрессировки (полученных по замерам напряжения и силы тока на якорях двигателей клетки, моталки и разматывателя и рассчитанных по модели) были бы минимальными (не более 2%) на всем массиве данных.

Моделирование показало, что при дрессировке малоуглеродистых сталей коэффициенты трения имеют максимальные значения на первом упругом участке (0,14-0,33), а минимальные – на втором упругом участке (0,06-0,15).

Корреляционный анализ показал, что коэффициенты трения на упругих участках зависят от толщины полосы h_0 , степени деформации ε , скорости дрессировки v и шероховатости валков R_a , а на пластическом участке – от коэффициентов трения на упругих участках.

Одним из значимых факторов, влияющих на величину коэффициентов трения, является шероховатость поверхности рабочих валков, которая за межперевалочную кампанию валков дрессировочной клетки уменьшается из-за износа.

Обработка профилограмм изношенных рабочих валков дала возможность получить регрессионную зависимость величины R_a от времени работы валков после перевалки:

$$R_a = 0,018\tau^2 - 0,32\tau + R_{a_{исх}}, \quad (3)$$

где τ - время в часах; $R_{a_{исх}}$ – исходная шероховатость бочки валков при установке в клетку, мкм.

При использовании выражения (3) его коэффициенты следует уточнять для конкретного дрессировочного стана, т.к. они зависят от

износостойкости материала валков и сопротивления деформации обрабатываемых полос.

Внеся в методику А.И. Целикова описанные выше уточнения, рассчитали переменные контактные напряжения в очаге деформации, а затем получили путем интегрирования расчетные формулы средних значений нормальных контактных напряжений на каждом участке очага деформации.

Удельную работу дрессировки в очаге деформации вычисляли суммированием удельных работ на его участках:

$$a_{др} = a_1 + a_{пл} + a_{2упр},$$

где $a_{1упр}$, $a_{пл}$, $a_{2упр}$ - удельные работы прокатки соответственно на первом упругом, пластическом и втором упругом участках очага деформации.

Мощность дрессировки вычисляли по формуле:

$$N_{др} = a_{др} b h_1 v_B,$$

где b ; h_1 - ширина и толщина полосы, v_B - скорость полосы на выходе из валков.

При расчете мощности двигателей главного привода дрессировочной клетки учитывали расход энергии не только в очаге деформации, но и на преодоление сил трения между рабочими и опорными валками и в элементах главной линии стана.

Полные затраты энергии на процесс дрессировки определяли алгебраическим суммированием мощностей двигателей рабочей клетки, моталки и разматывателя, при этом учитывали, что двигатель разматывателя работает в генераторном режиме.

Используя изложенную выше усовершенствованную математическую модель, выполнили исследование влияния технологических параметров на суммарную мощность процесса дрессировки.

Методика моделирования состояла в следующем: изменяя с определенным шагом один из параметров (исходный предел текучести, заднее, переднее натяжения, относительное обжатие, скорость дрессировки), при неизменных значениях других параметров рассчитывали суммарную мощность дрессировки.

Моделирование показало, что наиболее эффективный метод экономии энергии на одноклетьевом дрессировочном стане - увеличение силы переднего натяжения, создаваемой двигателем моталки. Объяснение этого эффекта состоит в том, что с ростом переднего натяжения увеличивается протяженность зоны опережения в очаге деформации за счет уменьшения протяженности зоны отставания, в результате чего разгружается двигатель главного привода рабочей клетки, т.к. рабочие валки могут совершать активную работу только в зоне отставания, где

окружная скорость их бочки больше, чем средняя по сечению скорость дрессировочной полосы [1; 2].

На ряде действующих дрессировочных станков для этого есть реальная возможность, т.к. удельные натяжения между рабочей клетью и моталкой составляют 10-16% от предела текучести. Увеличение их до диапазона 15-20% от предела текучести – вполне безопасное техническое мероприятие, которое даст возможность сэкономить от 5 до 10% энергии и тем самым повысить конкурентоспособность холоднокатаных стальных листов выпускаемых металлургическим предприятием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарбер, Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология) / Гарбер, Э.А. – М.: ОАО «ЧереповецИнформация»; Череповец: ЧГУ, 2004. – 416 с.

2. Гарбер, Э.А. Методика расчета энергосиловых параметров процесса дрессировки / Э.А.Гарбер, М.А. Тимофеева, И.А. Кожевникова, В.В. Кузнецов // Производство проката. – 2006. – № 2. – С. 68-76.

3. Гарбер, Э.А., Тимофеева М.А., Трайно А.И., Кожевникова И.А. Моделирование энергосиловых параметров дрессировочных станков / Э.А. Гарбер, М.А. Тимофеева, А.И. Трайно, И.А. Кожевникова // Металлы. – 2006. – № 2. – С.68-76.

4. Кожевникова, И.А. Производство проката. / И.А. Кожевникова, Э.А. Гарбер: Том I: Книга 2. Развитие теории тонколистовой прокатки для повышения эффективности работы широкополосных станков. – М.: Теплотехник, 2010.- 252 с.

КОНТРОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ С НЕЯСНО ВЫРАЖЕННЫМИ ОРИЕНТИРУЮЩИМИ ПРИЗНАКАМИ

В.А. Глазков, И.А. Назарова, И.В. Назаров
Россия, Вологодский государственный университет

Решение задач автоматического ориентирования деталей и заготовок представляет собой одно из важнейших условий осуществления комплексной автоматизации и механизации технологических процессов. Автоматическое ориентирование – процесс приведения деталей из любого возможного устойчивого положения в заданное устойчивое положение [1].

Активное ориентирование деталей может быть подразделено на активное ориентирование, при котором детали меняют положение за

счет последовательного приложения гравитационных или инерционных сил (упор, пороги) и активно-принудительное, при котором детали меняют свое положение с помощью специальных автоматических активно-принудительных устройств.

Ориентирующее устройство в общем случае состоит из трех органов: определяющего, контрольного или опознающего и исполнительного. Определяющий или фиксирующий орган предназначен для фиксации положения детали на ориентирующей позиции и в каждом конкретном случае он оформляется по-разному. Контрольный орган автоматических ориентирующих устройств служит для контроля положения ориентируемых деталей и подачи соответствующей информации на исполнительный орган, который в зависимости от этой информации должен либо удалить неправильно сориентированную деталь, либо произвести переориентацию с помощью механических, гидравлических, электрических, пневматических и других устройств. Контрольный и исполнительный орган могут быть совмещены (непрерывный способ ориентирования), либо размещаться на разных позициях (активное ориентирование).

Количество и качество информации, поступающей от предъявляемого к опознанию изделия, определяются качеством, типом и техническими возможностями элементов контроля. Все возможные способы опознания положения деталей можно разбить на три группы, требующие:

- 1) большого объема информации (квазитопологический, корреляционный и др.);
- 2) минимального объема информации (способ гравитационно-электронный, специальных масок и др.);
- 3) определение и ориентирование одним параметром (способ маркировки, фотооптический и др.).

Применение способа маркировки требует предварительной подготовки определяемой детали, заключающейся в нанесении специальных знаков (магнитные, флуоресцирующие метки) в определенном месте поверхности детали так, чтобы они полностью характеризовали любое устойчивое различимое положение. Определение различимого положения детали по признакам внутреннего контроля является затруднительным. Поэтому, используя свойство ферромагнитной детали соответствующим образом располагаться в магнитном поле в зависимости от внутренней конфигурации, появляется возможность электромагнитного способа определения положения деталей.

В коротких автоматических линиях для шлифования внутренних колец подшипников на ЗАО «Вологодский подшипниковый завод» наиболее трудной задачей является ориентация колец при базировании их

на рабочих позициях шлифовальных станков по риске, нанесенной на один из торцов.

Авторами предложен способ ориентации, при котором для контроля положения колец на ориентирующем лотке применяется поляризованный магнитоуправляемый контакт. При поступлении колец с предыдущей операции (шлифование торцов) на автоматическую линию они предварительно намагничиваются в однородном импульсном поле так, что базовые торцы колец становятся одноименным полюсом (северным или южным), и противобазовые (с риской) – противоположными.

Намагниченные таким образом кольца загружаются навалом в автоматическое загрузочное устройство, с помощью которого проходят первичную ориентацию и поштучно выдаются в лотково-транспортную систему автоматической линии.

Транспортируясь по лотку, кольца проходят через зону срабатывания датчика, который определяет направление магнитного поля детали. Если кольцо ориентировано правильно, датчик не срабатывает и кольцо попадает на рабочую позицию станка. При неправильной ориентации датчик отдает команду на исполнительный механизм (например, электромагнит с ориентирующей заслонкой), с помощью которой осуществляется вторичная ориентация колец (поворот на 180°).

В качестве датчика применен поляризованный магнитно-управляемый контакт МКП-8; на рисунке 1 показана схема его работы. Кольцо 2, транспортируясь по лотку, попадает в зазор между двумя проводниками магнитного поля 1, которые передают магнитное поле на магнитные контакты 4, заключенные в герметический корпус 3.

В зависимости от направления магнит-

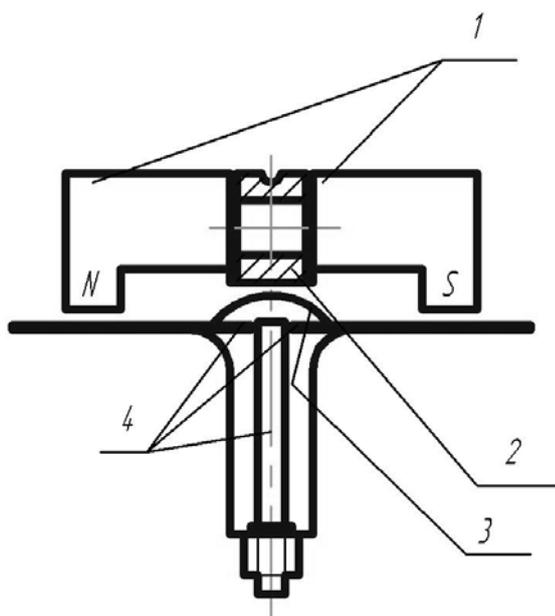


Рис. 1. Схема работы МКП-2

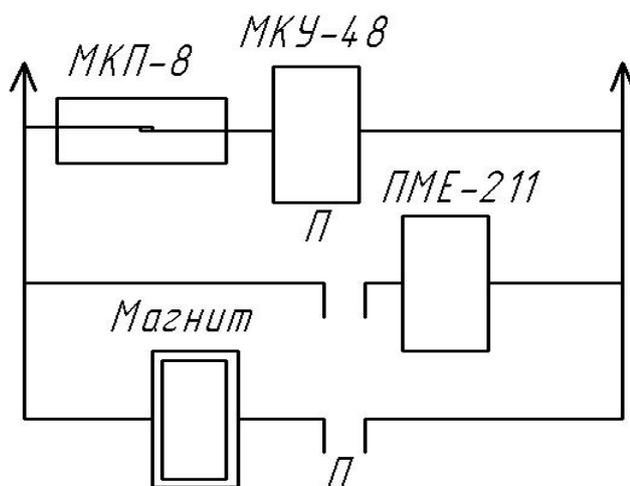


Рис. 2. Схема контрольного устройства

ного поля каждого кольца срабатывает соответствующая пара магнитных контактов.

На рис. 2 показана электросхема контрольного устройства. При срабатывании МКП-8 от магнитного поля кольца слаботочное реле МКУ-48 контактом *P* замыкает обмотку реле ПМЕ-211 с большим током срабатывания, которое через свой контакт *П* включает обмотку электромагнита, связанного с ориентирующей заслонкой.

Испытания схемы показали надежность работы контрольного устройства, которое можно использовать для вторичной ориентации симметричных различных деталей с неясно выраженными ориентирующими признаками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович, А.Н. Автоматизация механосборочного производства / А.Н. Рабинович. – Киев: Высшая школа, 1969. - 255 с.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДЪЕМА КРАНОВОГО МЕХАНИЗМА ПО МЕТОДУ АКАР

А. В. Гусев

*Россия, Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово*

Крановые механизмы являются неотъемлемой частью большинства технологических и транспортно-логистических процессов. От показателей производительности и безотказности работы крана зачастую зависит как эффективность производства в целом, так и качество работы транспортных систем.

При эксплуатации кранов около 80 % поломок происходит в результате действия динамических нагрузок на механические элементы [1], поэтому разработка алгоритма управления крановым механизмом, позволяющим снизить или полностью устранить динамические колебания элементов конструкции крана при работе, а также способствующих увеличению производительности кранового механизма, является актуальной технико-экономической задачей.

Привод подъема будем рассматривать как двухмассовую механическую систему. К первой массе относятся вал двигателя, упругая муфта, тормозной шкив, шестерни и валы редуктора, зубчатая муфта на выходном валу редуктора и барабан привода подъема. Второй массой является поднимаемый груз. Математическая модель двухмассовой сис-

темы с учетом нелинейности передаваемого канатом усилия имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1} (M - M_{12}); \\ \dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_{c2}); \\ \dot{M}_{12} = C_{12} \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{(1 + e^{-a(\varphi_1 - \varphi_2)})} = C_{12} \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\tau(\varphi)}; \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1; \\ \dot{\varphi}_2 = \omega_2, \end{array} \right. \quad (1)$$

где φ_1, φ_2 – соответственно угловые положения первой и второй массы; ω_1, ω_2 – соответственно угловые скорости первой и второй массы; J_1, J_2 – соответственно моменты инерции первой и второй массы; M, M_{12}, M_{c2} – соответственно электромагнитный момент двигателя, момент, эквивалентный упругому усилию в канате, и момент сопротивления, действующий на вторую массу; C_{12} – приведенная жесткость каната; $\tau(\varphi) = (1 + e^{-a(\varphi_1 - \varphi_2)}) = (1 + e^{-a\Delta(\varphi)})$ – функция, учитывающая нелинейный характер передачи усилия канатом, a – параметр, учитывающий крутизну подъема зависимости в точке $\Delta(\varphi) = 0$.

На рисунке 1 представлена структурная схема электропривода подъема. Нелинейный элемент (НЭ) учитывает тот фактор, что канат способен передавать усилие только при растяжении. Регулятор (Р) реализует необходимый алгоритм управления. Электрическая подсистема привода представлена как безынерционный источник момента (БИМ) [2], что позволяет осуществлять синтез регулятора механических координат, основываясь только на математической модели механической подсистемы.

Произведем построение регуляторов по методу АКАР, основываясь на преимуществах данного метода, изложенных в [3].

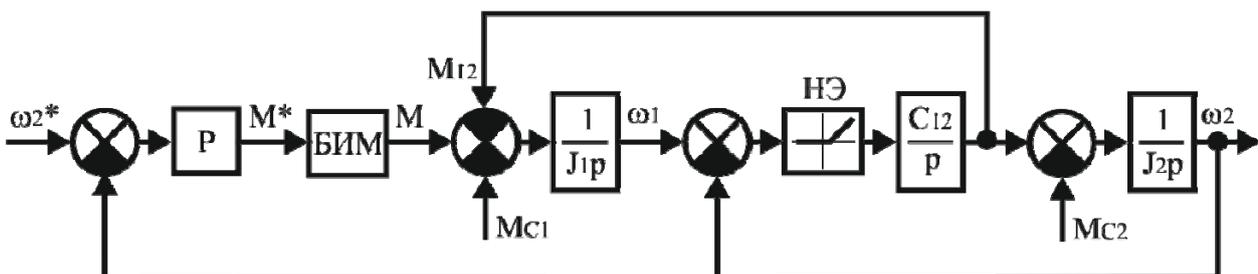


Рис. 1. Структурная схема электропривода подъема

В качестве первой целевой функции (инвариантного многообразия) для синтезируемой системы управления выбираем условие равенства скорости движения второй массы (груза) её заданному значению:

$$\psi_1 = \omega_2 - \omega_2^* = 0, \quad (2)$$

где ω_2^* – заданное значение скорости груза.

Вторую целевую функцию (инвариантное многообразие) выбираем, исходя из необходимости функциональной связи первой и второй массы механической системы, а также с учетом условия необходимости автоматического ограничения усилия в канате:

$$\psi_2 = M_{12} - A_2 \text{th}(v_{M12}) = 0, \quad (3)$$

где A_2 – величина ограничения усилия в канате, приведённая к валу двигателя, $v_{M12} = M_{c2} - \frac{J_2}{T_1}(\omega_2 - \omega_2^*)$ – внутренняя переменная синтезируемой системы управления, обеспечивающая желаемый характер движения на последнем аттракторе и условие достижения конечной цели управления, T_1 – постоянная времени, в течение которой система будет двигаться на последнем аттракторе.

Третью целевую функцию (инвариантное многообразие) выбираем вида:

$$\psi_3 = \omega_1 - v_{\omega 1} = 0, \quad (4)$$

где $v_{\omega 1} = \omega_2 + \frac{A_2 \tau(\varphi)}{T_2 c_{12}} \left\{ \text{th}(v_{M12}) - \text{sech}^2(v_{M12}) \frac{T_2}{T_1} (M_{12} - M_{c2}) - \frac{M_{12}}{A_2} \right\}$ – внутренняя переменная синтезируемой системы управления, обеспечивающая желаемый характер движения на втором аттракторе, желаемый характер движения на первом аттракторе и условие достижения конечной цели управления, T_2 – постоянная времени, в течение которой система будет двигаться на втором аттракторе.

Искомое управляющее воздействие с учетом необходимости ограничения упругого усилия в канате примет вид:

$$\begin{aligned}
M = & \frac{A_2 J_1}{T_2 T_3 C_{12}} (1 + e^{-a\Delta(\varphi)}) \left\{ \operatorname{th}(v_{M12}) - \right. \\
& - \operatorname{sech}^2(v_{M12})(M_{12} - M_{C2}) \left(\frac{T_2}{T_1} + \frac{T_3}{T_1} + 2 \frac{T_2 T_3}{T_1^2} \operatorname{th}(v_{M12})(M_{12} - M_{C2}) \right) - \\
& - \frac{M_{12}}{A_2} \left. \right\} - \frac{A_2 J_1}{T_2 C_{12}} a e^{-\Delta(\varphi)} \left\{ \operatorname{th}(v_{M12}) - \operatorname{sech}^2(v_{M12}) \frac{T_2}{T_1} (M_{12} - M_{C2}) - \frac{M_{12}}{A_2} \right\} - \\
& - \left\{ \frac{A_2}{T_1} \operatorname{sech}^2(v_{M12}) + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} \right\} J_1 (\omega_1 - \omega_2) + \frac{J_1}{J_2} (M_{12} - M_{C2}) + M_{12},
\end{aligned} \tag{5}$$

где T_3 – постоянная времени, в течение которой система будет двигаться на первом аттракторе.

Результаты компьютерного моделирования работы полученного алгоритма управления приведены на рисунке 2. При моделировании использовались следующие значения параметров системы: $T_1=T_2=T_3=0,01$ с; $A_2=110$ Н х м; $J_1=0,2$ кг х м²; $C_{12}=24000$ Н х м; $a=100$; $\omega_2^*=35$ рад/с; масса груза $m_1=2000$ кг. Ограничение момента, развиваемого электроприводом, принималось на уровне ± 300 Н х м. Первоначальное провисание каната, приведённое к валу двигателя, составляло 1 рад.

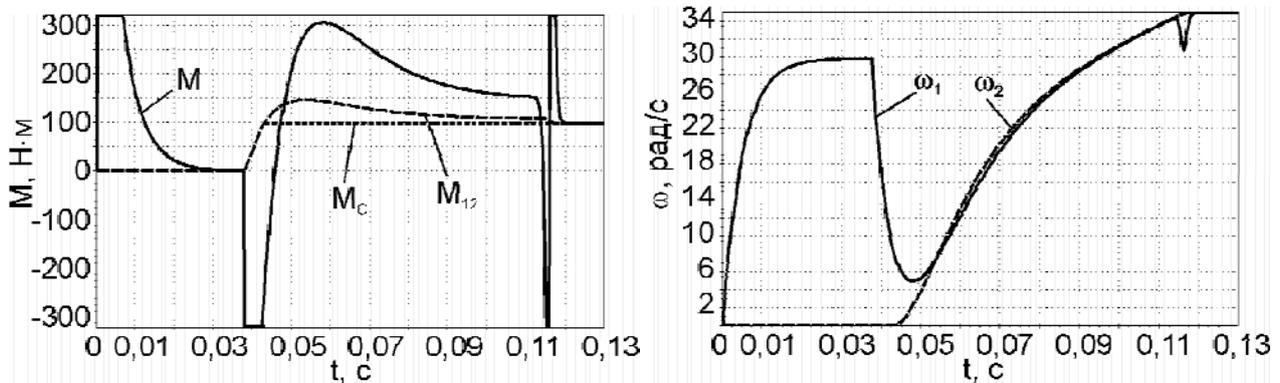


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования

Анализируя результаты компьютерного моделирования, можно отметить следующее: устранение провисания каната происходит за 0,04 с, после чего привод формирует максимальный тормозной момент для снижения кинетической энергии первой массы и, как следствие, уменьшения максимального упругого момента в трансмиссии M_{12} ; характер переходных процессов апериодический, что способствует снижению уровня динамических нагрузок на механическую подсистему привода подъема крана и увеличению показателей безотказности и долговечности. Таким образом, предложенный алгоритм управления может быть

применен при разработке новых систем управления электроприводом подъема кранового механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, М.П., Колобов Л.Н., Лобов Н.А. и др. Грузоподъемные машины. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
2. Завьялов, В.М. Снижение динамических нагрузок в трансмиссиях горных машин / В.М. Завьялов. – Кемерово: КузГТУ, 2008. – 172 с.
3. Колесников, А.А. Синергетическая теория управления / А.А. Колесников. – Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ДЕФОРМИРУЕМОЙ ВТУЛКОЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Демин, И.А. Титов

*Россия, Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет*

В процессе сборки прессовых соединений необходимо обеспечить точное базирование собираемых деталей для получения качественного контакта сопрягаемых поверхностей. Обеспечение точного взаимного расположения деталей в процессе сборки требует применения специализированного оборудования, что существенно усложняет автоматизацию сборочного процесса. Особенно актуальна эта проблема для прессовых соединений малого диаметра, так как к их изготовлению предъявляют повышенные требования по точности ($IT7$ - $IT5$) и качеству обработки сопрягаемых поверхностей (Ra 0,32-1,25). Поэтому общие затраты на сборку с учетом переоснащения оборудования и низкой производительности приводят к резкому повышению стоимости готового изделия.

Для решения этой проблемы предложено [1] изготавливать соединяемые детали с гарантированным аксиальным зазором. При этом между охватываемой 2 и охватывающей 1, 4, 7 деталями (рис. 1) дополнительно устанавливается также с гарантированным зазором промежуточная втулка 3. В процессе сборки втулка подвергается осадке и, пластически деформируясь, компенсирует монтажные (аксиальные) зазоры, образуя прессовое соединение.

На рисунке 2 представлены результаты исследования влияния точности изготовления деталей, определяемой получаемым монтажным зазором (натягом для обычного прессового соединения) на несущую

способность прессовых соединений диаметром 10 мм. Из графика следует, что прессовые соединения с промежуточной втулкой при увеличении допуска на их изготовление снижают несущую способность приблизительно в 2 раза в пределах зазора, обусловленного 14-м качеством точности изготовления деталей. Для обычных прессовых соединений величина несущей способности изменяется в 7 раз в пределах точности изготовления деталей, соответствующих посадке Н7/р6. Таким образом, предлагаемая конструкция позволяет обеспечить стабильность прочностных параметров соединения, что особенно сложно для прессовых соединений малого диаметра.

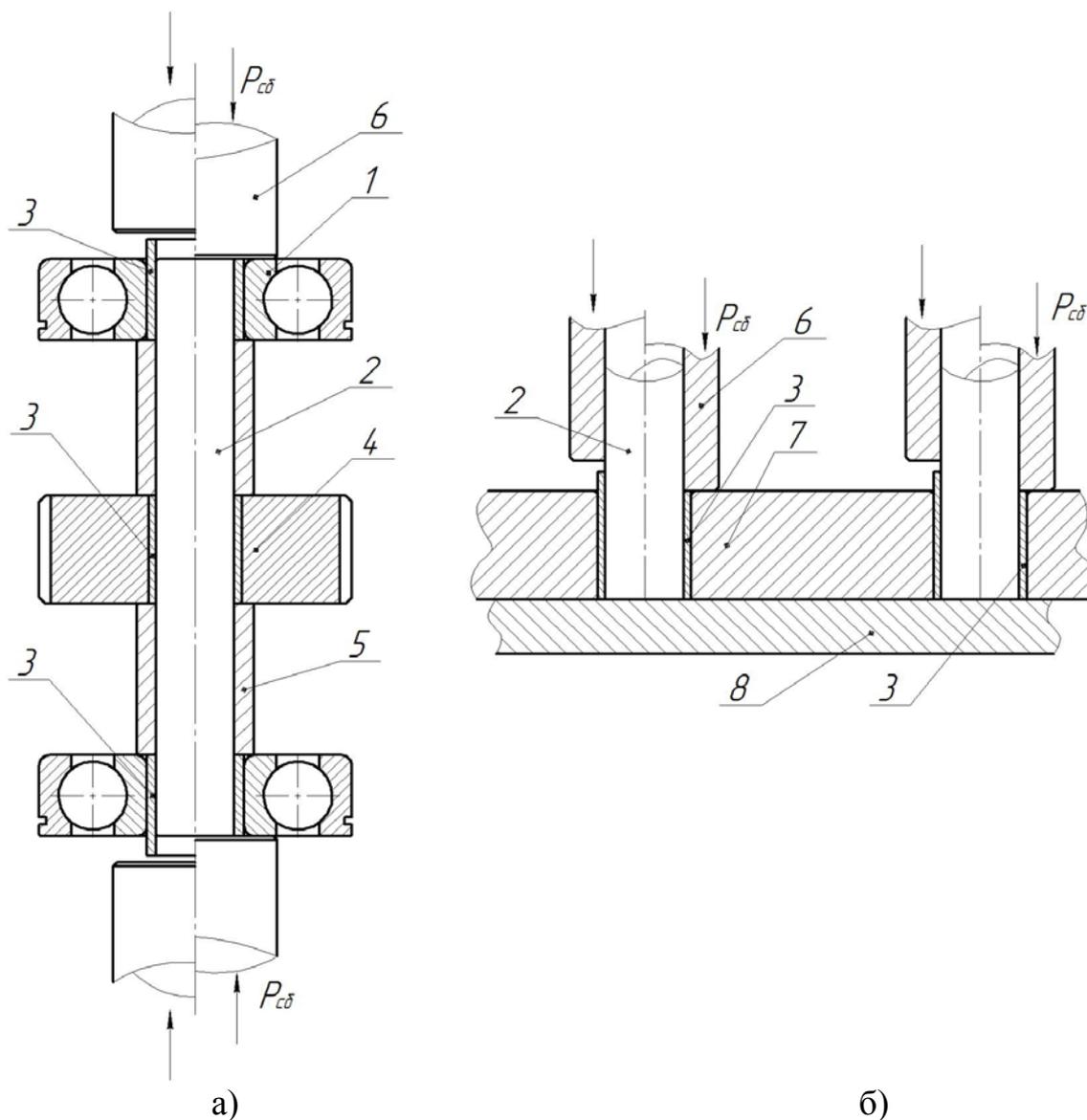


Рис. 1. Схемы одновременной сборки многоэлементных соединений:
 1 – подшипник; 2 – вал; 3 – промежуточная деформируемая втулка;
 4 – шестерня; 5 – втулка; 6 – сборочный инструмент;
 7 – корпус; 8 – подпор

За счет снижения предъявляемых требований к точности изготовления соединяемых деталей (до $IT12$ - $IT14$) и качеству их сопрягаемых поверхностей ($Rz\ 40$) при одновременном сохранении требуемой несущей способности стоимость получения соединения уменьшается в 1,5-2 раза.

Следует отметить, что использование промежуточных деформируемых втулок позволяет произвести одновременную сборку нескольких соединений (рис. 1) за один рабочий ход сборочного инструмента [2]. Полученные соединения обладают при этом высокой точностью относительного базирования.

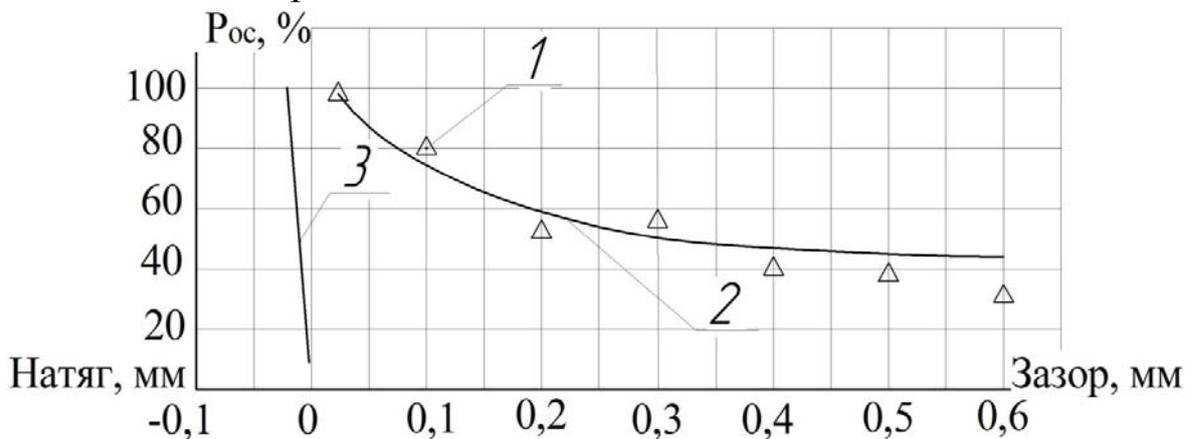


Рис. 2. Зависимость несущей способности соединения P_{oc} от допуска на ее изготовление: 1 – экспериментальные значения (соединение с деформируемой втулкой); 2 – результаты, полученные численным моделированием (соединение с деформируемой втулкой); 3 – обычное прессовое соединение диаметром 10 мм

При повторной сборке-разборке обычного прессового соединения происходит существенное снижение ее несущей способности, после 3-4 операций сборки-разборки соединяемые детали становятся непригодными для дальнейшего использования. В случае демонтажа трехэлементного прессового соединения становится неремонтопригодной только промежуточная деформируемая втулка. При этом охватываемая и охватывающая детали остаются работоспособными, т.е. обеспечивают высокое качество соединения без существенной потери несущей способности даже при многократной сборке-разборке.

Таким образом, конструкция предлагаемого прессового соединения является более технологичной по отношению к классическому двухэлементному прессовому соединению, поскольку позволяет выполнить сборку прессовых соединений с применением наиболее простых и эффективных средств автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2481938 Российская Федерация: МПК В23Р11/02. Прессовое соединение охватываемой втулки с охватывающей корпусной деталью / Демин А. А, Титов И. А.; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – № 2011129723/02; заявл. 18.04.2011; опубл. 27.01.2013. Бюл. № 14.
2. Демин, А.А. Сборка прессовых соединений с применением промежуточных деформируемых втулок/ А. А. Демин, И. Титов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – №11. – С. 6–12.

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

И.Е. Денисов, А.А. Суконщиков

Россия, Вологодский государственный университет

На сегодняшний день одной из актуальных задач автоматизации является распознавание образов: машинописных и рукописных текстов, данных различных систем безопасности, анализ поисковых запросов по изображению. Весомое значение имеет оперативный ввод графической информации, направляемой на дальнейшую обработку в информационные и управляющие системы информации с бланков.

Благодаря активному развитию технологий захвата изображений техническая сторона вопроса находится на достаточно высоком уровне: оборудование высокой разрешающей способности уже не является редким, а цена его весьма демократична.

Актуальность данной задачи обуславливается потребностью общества в глубокой интеграции мультимедиа-сервисов в повседневную жизнь. Например, примерно 7% запросов к поисковым системам Google и Яндекс переданы в виде изображений. Кроме того, популяризация систем дополненной реальности, таких, как Google Glass, также вносит огромное влияние на дальнейшее развитие технологий.

Задача распознавания предполагает интеллектуальную обработку полученной информации, что представляет определенные сложности. Каких-либо универсальных методов обработки образов, сравнимых по производительности и качеству распознавания с человеческими способностями, нет. Поэтому обработка образа в задаче распознавания является одной из центральных проблем.

Целью распознавания образов является классификация объектов по нескольким категориям или классам.

Классификация основывается на прецедентах. Прецедент – это образ, правильная классификация которого известна. Прецедент является заранее классифицированным объектом, принимаемым как образец при решении задач классификации.

Будем считать, что все объекты или явления разбиты на конечное число классов. Для каждого класса известно и изучено конечное число объектов – прецедентов. Задача распознавания состоит в том, чтобы отнести новый распознаваемый объект к какому-либо классу [1].

Рассмотрим примеры интеллектуальных компьютерных систем:

1) Машинное зрение. Это системы, назначение которых состоит в получении изображения через камеру и составление его описания в символьном виде (какие объекты присутствуют, в каком взаимном отношении находятся и т.д.).

2) Символьное распознавание – это распознавание букв или цифр.

3) Диагностика в медицине.

4) Геология.

5) Распознавание речи.

6) Распознавание в дактилоскопии (отпечатки пальцев), распознавание лица, подписи, жестов.

Измерения, используемые для классификации образов, называются признаками. Признак – это некоторое количественное измерение объекта произвольной природы. Совокупность признаков, относящихся к одному образу, называется вектором признаков. Вектора признаков принимают значения в пространстве признаков. В рамках задачи распознавания считается, что каждому образу ставится в соответствие единственное значение вектора признаков, и наоборот, каждому значению вектора признаков соответствует единственный образ.

Классификатором или решающим правилом называется правило отнесения образа к одному из классов на основании его вектора признаков.

В зависимости от наличия или отсутствия прецедентной информации различают задачи распознавания с обучением и без обучения. Задача распознавания на основе имеющегося множества прецедентов называется классификацией с обучением (или с учителем).

В данной работе используется классификация на основе байесовской теории решений. Байесовский подход исходит из статистической природы наблюдений. За основу берется предположение о существовании вероятностной меры на пространстве образов, которая либо известна, либо может быть оценена. Цель состоит в разработке такого классификатора, который будет правильно определять наиболее вероятный класс для пробного образа. Тогда задача состоит в определении наиболее вероятного класса.

Теорема Байеса – одна из основных теорем элементарной теории вероятностей, которая определяет вероятность наступления события в условиях, когда на основе наблюдений известна лишь некоторая частичная информация о событиях. Иначе, по формуле Байеса можно более точно пересчитывать вероятность, беря в учет как ранее известную информацию, так и данные новых наблюдений [2].

Формула Байеса вытекает из определения условной вероятности. Вероятность совместного события АВ двояко выражается через условные вероятности:

$$P(AB) = P(A|B)P(B) = P(B|A)P(A) \quad (1)$$

Отсюда:

$$P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

В данной формуле:

$P(A)$ – априорная вероятность гипотезы А,

$P(A|B)$ – вероятность гипотезы А при наступлении события В (апостериорная вероятность),

$P(B|A)$ – вероятность наступления события В при истинности А,

$P(B)$ – полная вероятность наступления события В [3].

Преимущества байесовского подхода:

1. Байесовское решающее правило оптимально, выписывается в явном аналитическом виде, легко реализуется программно. На его основе строятся многие методы классификации.

2. При классификации объекта заодно оцениваются априорные вероятности его принадлежности каждому из классов. Эта информация используется во многих приложениях для оценки рисков.

3. Байесовское решающее правило удобно использовать в качестве эталона при тестировании алгоритмов классификации на модельных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлезингер, М. И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. И. Шлезингер, В. Главач. – Киев: Наукова думка, 2004. – 554 с.

2. Математические методы распознавания образов: курс лекций / сост. Л.М. Местецкий. – МГУ: кафедра «Математические методы прогнозирования», 2004.

3. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшее образование, 2005. – 479 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ*

**Е.В. Ершов, Л.Н. Виноградова, Е.В. Трифанова,
И.А. Варфоломеев**

Россия, Череповецкий государственный университет

Технология нанесения полимерного покрытия «Coil Coating» является современным методом проведения окрасочных работ, когда нанесение лакокрасочных покрытий происходит в поточных автоматизированных линиях. В этом процессе полосы рулонного проката подвергаются специальной обработке и последующему нанесению лакокрасочных материалов (ЛКМ) с помощью валковых машин. Предварительная окраска листового металла позволяет снизить общую стоимость продукции на 20-30 %.

Важным этапом в технологическом процессе окраски рулонного металлопроката является сушка ЛКМ в печи агрегата полимерных покрытий. Именно эта стадия влияет на качество конечной продукции. Большой процент брака в данном виде производства связан со слабым прилипанием ЛКМ к поверхности листа, вызванным неправильным температурным режимом сушки.

Совершенствование процесса сушки полимерного покрытия на поверхности металлического листа с целью снижения издержек возможно лишь на основе его фундаментального исследования [2]. По этой причине построение модели теплофизических процессов полимеризации стального оцинкованного листа и её последующее использование при оптимизации технологических параметров является актуальной задачей для создания автоматических систем управления технологическим процессом окраски металла по технологии «Coil Coating».

Управление процессом сушки оцинкованной полосы заключается в задании семи значений температур печных зон (T_{31}, \dots, T_{37}), обеспечивающих требуемый температурный режим, при котором температура поверхности полосы на выходе из печи попадает в интервал рекомендуемых температур полимеризации ЛКМ ($[T_{пол1}, T_{пол2}]$). Это обеспечит максимальный коэффициент адгезии покрытия к подложке. Температуры печных зон зависят от следующих технологических параметров: толщины (h), скорости (V) и начальной температуры ($T_{нач.}$) полосы, плотности (ρ) и теплоёмкости (c) стали.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-03-98803)

На первом этапе была построена математическая модель процесса сушки полимерного покрытия, осуществляющая прогноз температуры поверхности металла ($T_{пов.вых.}$) для заданного набора технологических параметров. При сушке ЛКМ в печах передача тепла осуществляется за счёт радиационно-конвективного теплообмена, описываемого уравнением:

$$c\rho h \frac{dT_{полосы}}{d\tau} = \alpha_k (T_{печи} - T_{полосы}) + \sigma_o \eta (T_{печи}^4 - T_{полосы}^4), \quad (1)$$

где $T_{полосы}$ и $T_{печи}$ – температура стальной полосы и температура печи соответственно, τ – время, η – коэффициент рассеивания энергии при излучении, α_k – коэффициент теплоотдачи при конвекции, σ_o – постоянная Стефана-Больцмана. Решение уравнения (1) с подобранными коэффициентами α_k и η позволяет определить температуру металла в любой точке печи.

На втором этапе для поиска оптимальных значений технологических параметров построенная математическая модель процесса полимеризации, дополняется формулировкой цели управления, выраженной через критерий качества управления, заданный с помощью целевой функции [1].

Для рассматриваемого процесса полимеризации оцинкованной полосы главной задачей является достижение температуры на поверхности металла, обеспечивающей максимальный коэффициент адгезии краски. Однако стоит заметить, что нет необходимости получить какое-то конкретное значение, достаточно попасть в интервал рекомендуемых температур полимеризации. По этой причине существует множество решений данной задачи. Этот факт позволяет нам ввести критерий экономичности. Так наиболее экономичным будет такой набор технологических параметров, который позволит достичь температуры, попадающей в интервал рекомендуемых, при минимальных издержках. В качестве издержек рассматривается расход газа, используемый для нагрева печных зон. Следовательно, чем выше температура печной зоны, тем больше газа необходимо для её нагрева. Таким образом, оптимальный выбор технологических параметров должен обеспечивать максимальный коэффициент прилипания при минимальных значениях температур печных зон. На основании этого можно сделать вывод о том, что задача оптимизации технологических параметров процесса сушки окрашенной оцинкованной полосы является многокритериальной. Для построения целевой функции было решено использовать лексикографическое упорядочение, которое является способом ранжирования объектов по значимости в многокритериальной задаче.

Для задачи многокритериальной оптимизации технологических параметров процесса сушки было решено, что более важным критерием является качество прилипания покрытия к поверхности оцинкованной полосы. Второй по значимости критерий – это расход энергоресурсов, выраженный в количестве газа затраченного на нагрев печи.

Для обоих критериев необходимо осуществлять регулирование температур семи печных зон ($T_{31} \dots T_{37}$). Их значения должны быть подобраны таким образом, что температура поверхности ($T_{нов.вых.}$) металла на выходе из печи попадала в интервал рекомендуемых температур полимеризации [$T_{пол1}; T_{пол2}$] при минимальном значении их суммы.

В результате лексикографического упорядочения было получено выражение (2), позволяющее вычислять значение оценки по совокупности критериев.

$$quality = (-1) \cdot \frac{adh}{\sum_{i=1}^7 T_{3i}} \rightarrow \min, \text{ где } adh = \begin{cases} 1, \text{ если } T_{нов.вых.} \in [T_{пол.1}; T_{пол.2}] \\ 0, \text{ если } T_{нов.вых.} \notin [T_{пол.1}; T_{пол.2}] \end{cases} \quad (2)$$

Чем ниже значение оценки, полученной с помощью выражения (2), тем более оптимальным является набор температур печных зон.

Расчёт значения $T_{нов.вых.}$ осуществляется с помощью математической модели, которая является достаточно сложной. По этой причине осложнено использование методов градиентного спуска, т.к. для определения направления спуска необходимо рассчитать частные производные целевой функции [3].

В методах нулевого порядка для определения направления спуска не требуется вычислять производные целевой функции. Направление минимизации в данном случае полностью определяется последовательными вычислениями значений функции. Следует отметить, что при решении задач минимизации методы первого и второго порядков обладают, как правило, более высокой скоростью сходимости, чем методы нулевого порядка. Однако на практике вычисление первых и вторых производных функции большого количества переменных весьма трудоёмко. В ряде случаев они не могут быть получены в виде аналитических функций. Определение производных с помощью различных численных методов осуществляется с ошибками, которые могут ограничить применение таких методов [3]. Для минимизации целевой функции использовался метод Хука-Дживса, который описан в работе [3].

Реализация модели процесса сушки и алгоритма Хука-Дживса, а также формализация целевой функции (2) в математическом пакете MatLab позволили разработать программу, осуществляющую оптимизацию температур печных зон при сушке полимерного покрытия.

Далее показаны результаты моделирования процесса сушки для двух температурных режимов: заданного и оптимизированного с помощью метода Хука-Дживса. На рисунках кривой 1 показана зависимость температуры поверхности металла от времени нахождения в печи. Линии 2 соответствуют температурам полимеризации ЛКМ, 3 – заданные температуры печных зон.

Как видно из рисунка 1а, при заданном температурном режиме температура поверхности металла на выходе из печи не попадает в интервал температур полимеризации. В результате это приведёт к отслоению покрытия. По этой причине значение целевой функции равно нулю. В данном случае разработанная программа снижает температуры печных зон таким образом, чтобы температура металла попала в требуемый интервал (рисунок 1б).

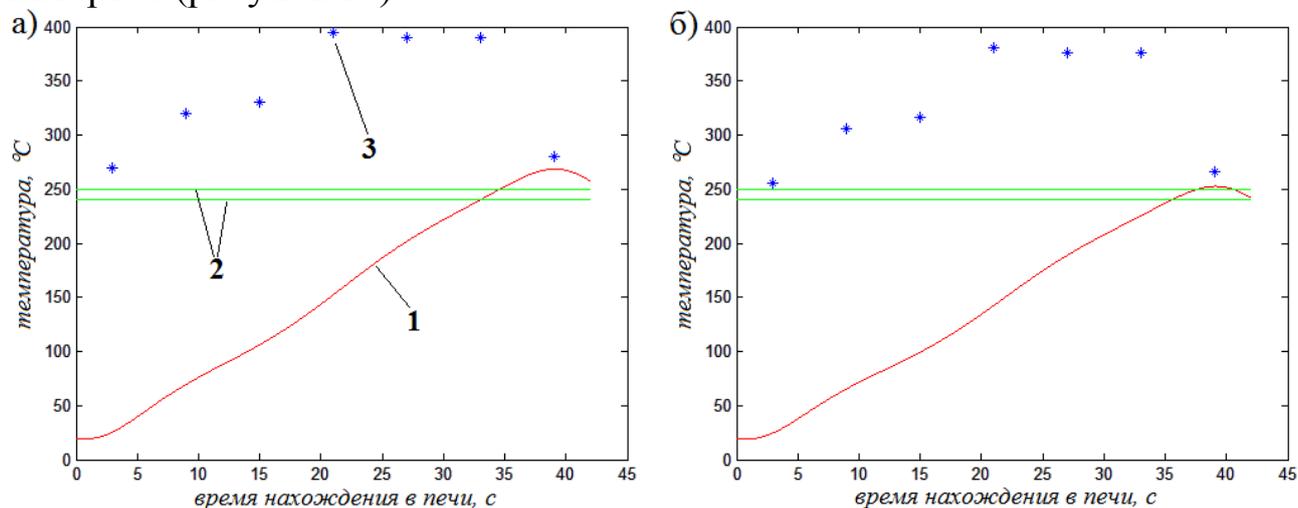


Рис. 1. Результаты моделирования:
а) для заданного температурного режима
б) для оптимизированного температурного режима

Результаты оптимизации заданного температурного режима показаны в таблице 1.

Таблица 1

Результаты оптимизации заданного температурного режима

Параметр	Заданный режим	Оптимизированный режим
$T_{з1}, \dots, T_{з7}, \text{ }^\circ\text{C}$	270, 320, 330, 395, 390, 390, 280	256, 306, 316, 381, 376, 376, 266
$T_{пол1} - T_{пол2}, \text{ }^\circ\text{C}$	240-250	
$T_{пов.вых.}, \text{ }^\circ\text{C}$	262	241
$quality \times 10^3$	0	-4,3917

Экспериментальное исследование разработанной программы, осуществляющей оптимизацию температурного режима процесса суш-

ки окрашенной оцинкованной полосы, показало возможность снижения количества бракованной продукции на 1,5 % и расхода газа на 2 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики: учеб. пособие для вузов [Текст]/ Ю.М. Коршунов. – М., Энергия, 1980. – 424 с.
2. Лифшиц, В.Г. Введение в физику поверхности / В.Г. Лифшиц, К. Оура, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма.- М.: Наука, 2006.- 490 с.
3. Хук, Р. Прямой поиск решения для числовых и статических проблем / Р. Хук, Т.А. Дживс. – 1961. – С. 212 – 219.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКИМ НЕЛИНЕЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЕГО ПРОДУКЦИИ

Н.М. Зайцева

*Казахстан, Инновационный евразийский университет,
г. Павлодар*

При нынешнем существовании рынка перед руководителями предприятий ставится задача выбора такой стратегии управления, которая позволит выжить в условиях конкурентной борьбы. Для этого ЛПР (лицо, принимающее решения) должно решить задачу определения оптимального объема выпуска продукции при существующих ценах на сырье и энергоресурсы. Эта задача требует особого подхода для производств, характеризующихся непрерывностью и нелинейностью.

Для этих производств задачи оперативного управления являются промежуточными в иерархии управления предприятием, верхний уровень – задачи технико-экономического плана, нижний уровень – это задачи управления технологическими процессами. Критерии качества управления в основном экономические, а результатами решения задач оперативного управления является определение для нижнего уровня средних значений технологических параметров и диапазонов их изменения.

История объективно сложилась так, что наиболее хорошо проработанным по методикам решения задач и применяемым техническим средствам является нижний уровень, а самым плохо проработанным – средний. Одной из причин этого явления служит недостаточность знаний о закономерностях поведения объектов управления на этом уровне, т.е. отсутствие математических моделей и систем управления. Настоя-

щая статья посвящена разработке математической модели оперативного управления одним классом непрерывных гидрохимических производств, а именно глиноземным производством на основе минимизации себестоимости продукции.

Связь функции себестоимости глинозема S с управляющими параметрами X носит экстремальный характер [1]. Известные на сегодняшний день системы поиска [2, 3] оптимальных значений X доказали целесообразность решения данной задачи с помощью моделей оперативной экономической оптимизации. Однако эти модели не пригодны для многономенклатурного варианта производств. Предлагаемая модель построена на основе упрощенных детерминированных уравнений материального баланса переделов производства и поэтому способна решать данную проблему представлена на рисунке ниже.

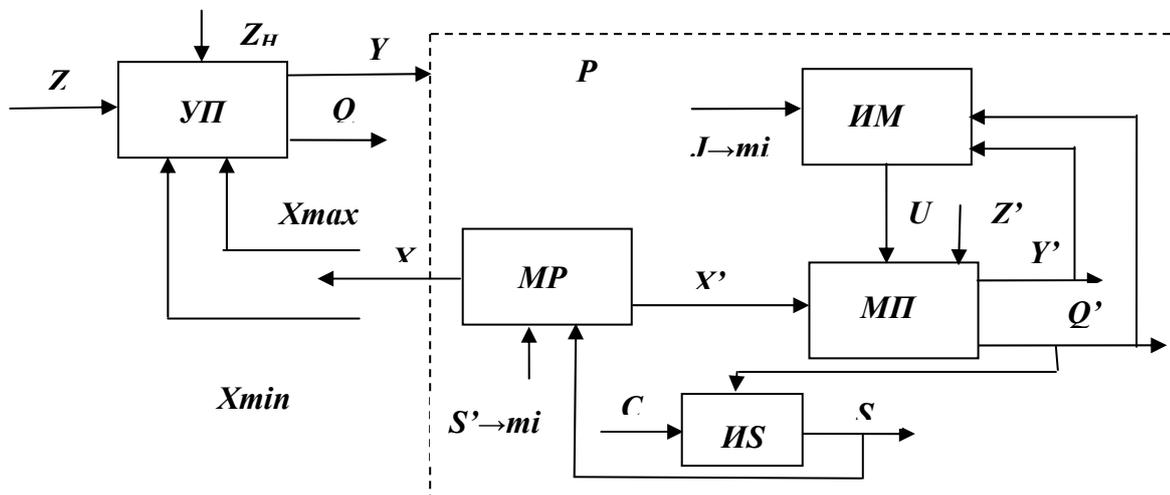


Рис.1. Структура модели оптимального управления производством

На рисунке блоком **УП** обозначено собственно производство, X - вектор режимных параметров, X_{min} , X_{max} - допустимый диапазон его изменения, Z - контролируемые, Z_H - неконтролируемые внешние воздействия, Y - вектор выходных параметров, Q - вектор расходных коэффициентов, P -регулятор (на рисунке он выделен пунктирной линией), **МП** – модель производства, выполненная на базе уравнений материального баланса, X' , Z' - оценочные значения параметров производства и контролируемых внешних воздействий соответственно, Y' , Q' - вектора выходных параметров и расходных коэффициентов соответственно, вычисляемые с помощью модели, **ИМ** – блок идентификации модели, J – критерий идентификации, U – вектор идентификационных коэффициентов модели, **ИС** – блок расчета себестоимости, C' – вектор оценочных значений цен, S' - оценочное значение себестоимости, **МП**- блок моделирования параметров производства, $S' \rightarrow min$ – критерий выбора параметров.

Регулятор P включает в себя четыре блока $МП$, $ИМ$, $ИС$ и $МР$. $МП$ (модель производства) – соотношения, моделирующие стационарные связи между задаваемыми известными значениями оценок X' и Z' входных величин X и Z и расчетными значениями Y' и Q' выходных величин Y и Q , U – идентифицируемые значения параметров модели $МП$. Идентификация модели (блок $ИМ$) выполняется на основе получаемых оценок выходных параметров производства Y' , вычисляемых блоком $МП$. Точность идентифицированной модели оценивается квадратичной величиной $J(J \rightarrow \min$ – критерий решения оптимизационной задачи идентификации модели).

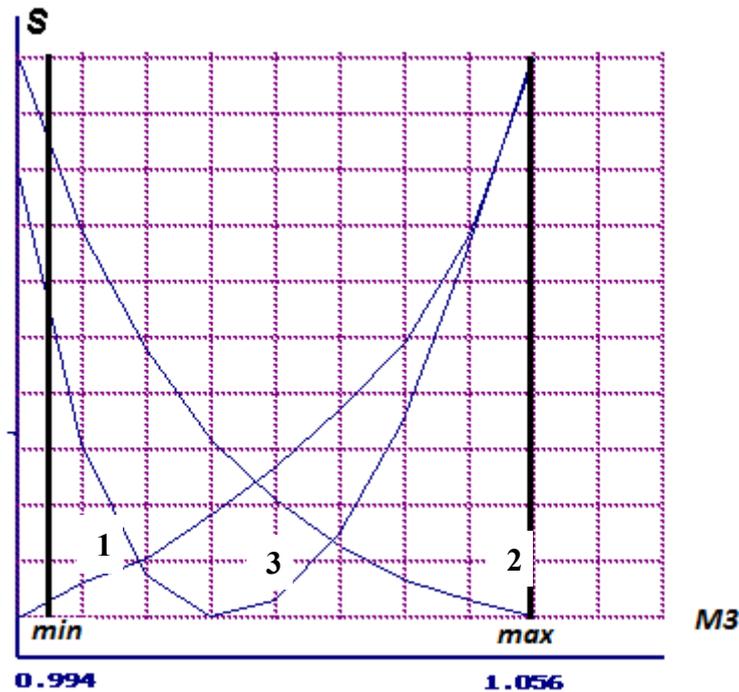


Рис. 2. Вариации функции S от одного из управляемых параметров производства ($M3$), полученные с помощью модели (\min , \max -границы изменений параметра, определяемые технологическим регламентом)

Оценка себестоимости S вычисляется в блоке $ИС$ с использованием прогноза цен C с помощью выражения: $S = C \cdot Q(X)$, где $Q(X) = \{Q_o, Q_n, Q_k, Q_3\}$ – вектор-столбец расходных коэффициентов (боксит, пара, каустика и электроэнергии соответственно) сырья и энергоносителей на 1 тонну глинозема, определяемых формулами (1), $C = \{C_o, C_n, C_k, C_3\}$ – вектор-строка соответствующих цен, которые в современных условиях характеризуются нестабильностью.

$$Q_o = K_o \frac{F_1}{0.629F_{10}}, Q_n = K_n \frac{K_{\text{вып}} F_{12}}{0.629F_{10}}, Q_k = K_k \frac{F_{13}}{0.629F_{10}}, Q_3 = K_3 \sum_{i=1}^{16} \frac{K_{3i} F_i}{0.629F_{10}}. \quad (1)$$

Здесь $K_{вып}$ - коэффициент расхода пара на 1 м^3 упаренной воды (Гкал/ м^3). $K_{эi}$ - коэффициенты распределения затрат электроэнергии вдоль гидрохимического кольца (кВт.ч/ед.измерений F), их значения определяются мощностями приводов насосов, мешалок и т.п. $Kб$, $Kп$, $Kк$, $Kэ$ - поправочные коэффициенты, отражающие долю не учитываемых моделью затрат боксита, пара, каустика, электроэнергии и погрешности моделирования влияния концентрационного режима на составляющие себестоимости.

При варьировании пробных значений вектора управлений в диапазоне допустимых изменений (X_{min} - X_{max}) получают частные срезы функции $S(X)$, которые позволяют получить в блоке MP (модель регулятора) путем решения задачи многомерного нелинейного программирования (входными данными блока MP является нелинейная функция себестоимости продукции S) оптимальные значения $X_{опт}$ режимных параметров X , соответствующие минимуму $S=S_{min}$ ($S' \rightarrow min$: критерий решения оптимизационной задачи).

Функция $S(X)$ смещается (варианты 1, 2, 3 на рисунке 2) при изменении среднего уровня цен на энергоносители и сырье, а также величин, колебания которых являются возмущениями Z и Z_n (в основном, характеристики сырья). При этом, как показала практика, не всегда экстремум находится в зоне допустимых значений режимных параметров производства. В связи с этим модель имеет различные стратегии поиска значений оптимальных режимных параметров $X = \{X_C, X_N, X_M\}$, который выполняется в блоке MP .

Существуют параметры X_N , составляющие вектора X , которые могут иметь только положительные значения первой производной себестоимости во всем диапазоне возможного изменения соотношений цен C . Для них оптимальная стратегия управления заключается в поддержании значения данного параметра у его минимального предела:

$$\frac{dS}{dX_{Ni}} > 0 \rightarrow X_N = X_{N \min}$$

Для другой группы параметров X_M тенденции обратные (первая производная отрицательная). В этом случае оптимальная стратегия – в поддержании режимного параметра у максимального предела

$$\frac{dS}{dX_{Mi}} < 0 \rightarrow X_M = X_{M \max}$$

Для третьей группы оставшихся параметров X_C знак первой производной зависит от имеющегося уровня соотношений цен. Для каждого i -ого параметра X_C реализуется одна из стратегий управления: 1) поддержание значения параметра у его минимального предела при положительном значении первой производной функции себестоимости во

всем диапазоне возможного изменения соотношений цен C , 2) поддержание значения параметра у его максимального предела при отрицательном значении первой производной, 3) поиск оптимального значения параметра с помощью предложенной модели.

Вывод. Разработана модель оптимального управления непрерывными нелинейными производствами на основе ситуационного принципа управления с учетом нестабильности цен на сырье и энергоресурсы с оптимизацией концентрационных режимов технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальц, Н.С. Аналитический метод выбора оптимальных технологических параметров при производстве глинозема гидраргиллитовых бокситов способом Байер-спекание / Н.С. Мальц, М.В. Левин. – Производство глинозема. Сб. научн. тр. ВАМИ: Л. – 1971.

2. Параска, В.И. Система оперативной экономической оптимизации процессов глиноземного производства. Цветные металлы / В.И. Параска, М.Я. Фитерман. – 2007. – №4.

3. Николаев, И.В. К вопросу об эффективности использования оптимизационной модели глиноземного завода для технико-экономического анализа производственной ситуации. Цветные металлы / И.В. Николаев, Д.А. Савельев. – 2007. – № 5.

РАБОТА ИНФОРМАЦИОННЫХ АГЕНТОВ В СОСТАВЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.А. Измайлов, Е.А. Бахтенко

Россия, Вологодский государственный университет

Одним из важных аспектов в работе распределенной серверной сети является работа агента информационного сервера. Агенты информационных серверов, кроме участия в диалоге с демоном серверов, должны взаимодействовать между собой. Это обусловлено необходимостью поддержания целостности информации, ее актуальности. Для этого рассмотрим методы взаимодействия между агентами, протоколы обмена данными.

Перед началом рассмотрения механизмов взаимодействия между агентами информационных серверов обратимся к структуре самого агента. В первую очередь представим структуру агента информационного сервера.

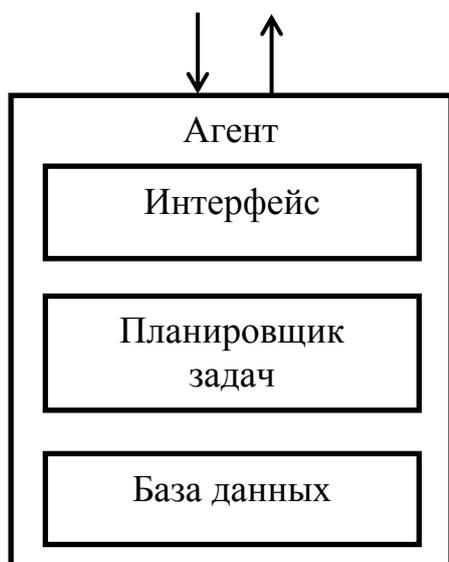


Рис. 1. Модель агента информационного сервера

Как видно из схемы, представленной на рисунке 1, агент информационного сервера состоит из нескольких функциональных частей:

- интерфейса;
- планировщика задач;
- базы знаний.

В интерфейс входят службы обеспечения агента, которые отвечают за его взаимодействие с окружением.

База знаний агента служит для хранения всех без исключения знаний, полученных в процессе жизни агента. Сюда входят база моделей агентов, база знаний о решаемой задаче и база накопленных знаний.

В базе моделей агентов хранятся знания об устройстве и интерфейсах вызовов других агентов. Изначально в базе имеется некоторая информация об устройстве других агентов, которая нужна для начала работы. Знания помещаются в эту базу по мере взаимодействия с другими агентами. Получение и хранение таких знаний очень важно в агентной системе, поскольку общая конфигурация системы (количество, функции и состав агентов) может меняться с течением времени без остановки функционирования.

База знаний о решаемой задаче содержит условие задачи, а также знания, получаемые в процессе решения. Она хранит промежуточные результаты решения подзадач. Также в базе данных хранятся знания о способах решения задач и методах выбора этих способов.

База накопленных знаний содержит знания агента о системе, которые нельзя отнести к предыдущим категориям. В эту базу помещаются знания о решениях предыдущих задач и различные побочные данные.

Планировщик задач отвечает за планирование деятельности агента по решению задачи. Результатом хорошей работы планировщика должен быть баланс деятельности агента между построением планов решения задачи в изменяющихся условиях и непосредственным выполнением намеченных планов.

Каждый агент обладает рядом сервисов – служб агента, которые обеспечивают его работу в системе, выполняют идентификацию агента, обеспечивают его связь с "внешним" миром:

- служба языка общения. Содержит правила, структуру языка общения между агентами, демоном серверов. Выполняет действия по формированию пакетов данных и чтению полученных пакетов данных.

- служба транспорта сообщений. Содержит данные о каналах связи между агентами. Выполняет действия по отправке пакетов данных и приему сообщений от других элементов распределенной серверной сети.

- служба местонахождения. Формирует данные о местонахождении агента в сети. Собирает информацию о состоянии смежных каналов связи.

- служба удаленного доступа. Позволяет выполнять администрирования агента средствами удаленного доступа. Также исполняет роль идентификатора в распределенной серверной сети, к которой он относится. Выполняет прямой доступ к службе учета агентов.

Служба учета агентов информационных серверов расположена на Демоне серверов. Выполняет функции регистрации агентов и предоставления отчетной информации по агентам сети. Формирует базу данных, которая исполняет роль идентификатора агентов, содержит информацию о местонахождении каждого агента и другую служебную информацию, касающуюся служб агентов и т.д.

Перед началом работы информационного сервера его агент должен пройти регистрацию в системе. Для этих целей агент формирует данные о себе как о поставщике различных сервисов в системе. В первую очередь, агент определяет транспортный протокол для себя, для обеспечения большей надежности связей их может быть несколько. Далее агент формирует собственную таблицу агента (по формату она соответствует общей таблице агентов) и регистрирует полученные данные в общей базе данных (рисунок 2).

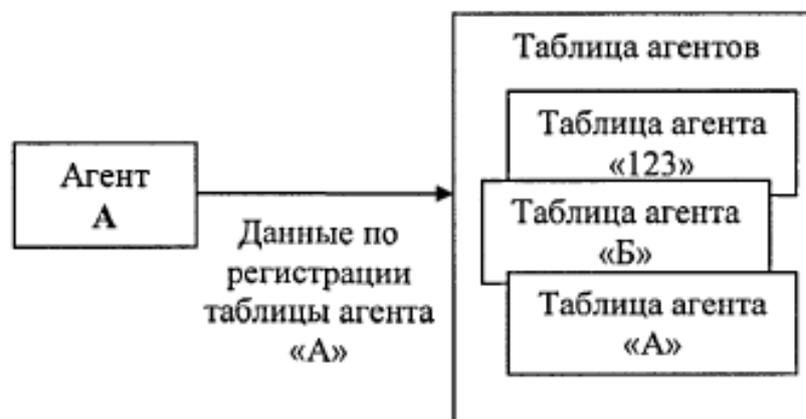


Рис. 2. Регистрация агента "А" информационного сервера в системе распределенных серверов

Рассмотрение механизма взаимодействия между агентами начнем с того, что определим, каким образом агенты информационных серверов получают информацию о других агентах, входящих в состав распределенной серверной сети. На рисунке 3 представлена схема взаимодействия агента со службой учета агентов для получения сведений об агентах, имеющихся в системе. Агент "Б" может выполнять поиск не только агентов, находящихся в сети или вновь появившихся, но и отбирать данные об агентах, удовлетворяющих параметрам, указанным в запросе агента "Б". Поиск в таблице агентов может быть выполнен как по общим принципам, описывающим работу агента, так и по конкретным ключевым параметрам работы агента. В результате обработки запроса агент "Б" может получить не только данные об искомом агенте, например "А", но и обо всех агентах, подходящих под заявленное описание.

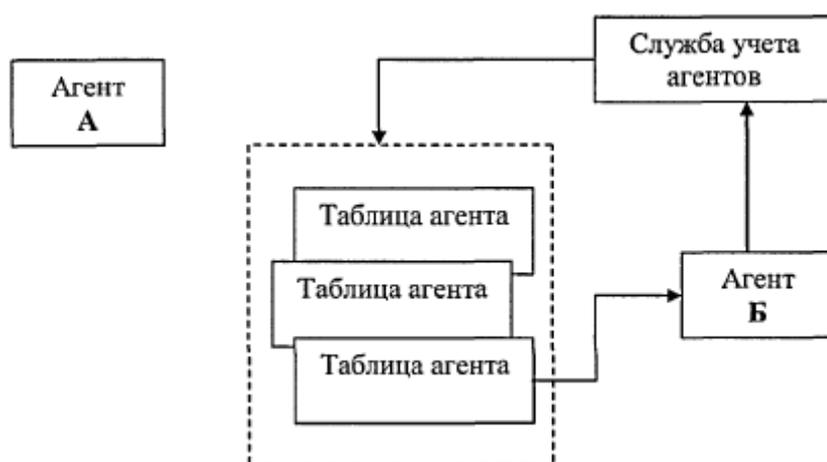


Рис. 3 Схема взаимодействия агента со службой учета агентов

Для отбора данных нужного агента из всех полученных от службы учета агентов агент "Б" может произвести тестовую проверку и отобрать агента, наиболее подходящего для выполнения поставленной задачи.

Агенты информационных серверов могут работать в нескольких режимах связи. В распределенной серверной сети агент самостоятельно, без чьей либо помощи, связывается с нужными ему объектами сети. Фундаментальный аспект в связях между объектами – это структура сообщений, которыми они обмениваются, представления этих сообщений и их транспортировка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов, И.А. Проектирование системы управления ресурсами предприятия на основе многоагентных систем. Сборник с материалами VII

Международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: инновации в современном мире» — Москва, 2012.

2. Либман Л. Философия распределения нагрузки. - Журнал сетевых решений LAN, 2000.

3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем //3-е изд., М.: Высшая школа, 2001. - 344 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В.Е. Кажан, Б.С. Медяник

*Украина, Национальная металлургическая академия Украины,
г. Днепропетровск*

Необходимость оценки надежности непосредственно связана с повышением эффективности и качества, уменьшением материальных и временных затрат на эксплуатацию электромеханических систем (ЭМС), в том числе электроприводов этих систем, а также совершенствованием их системы технического обслуживания (СТО). Поэтому оценка технической надежности является важной и актуальной задачей, решаемой на всех этапах “жизненного” цикла ЭМС.

В работе рассматривается методика определения оптимальных периодичностей технического обслуживания (ТО) ЭМС металлургических технологических комплексов. Для решения задачи предлагается полумарковская модель эксплуатации ЭМС, позволяющая получить аналитическое выражение и рассчитать оптимальные периодичности (ТО) исходя из условия обеспечения максимального коэффициента готовности системы при изменяющемся во времени параметре потока отказов.

При большой периодичности проведения ТО в ЭМС накапливаются скрытые отказы, приводящие к увеличению времени простоя системы. При уменьшении периодичности ТО увеличивается частота нахождения ЭМС в режиме ТО, что в свою очередь ведет к снижению её уровня готовности и увеличению затрат. Анализ СТО ЭМС указывает на то, что ТО проводятся с неизменными во времени объемами и периодичностями, принимая за величину параметра потока отказов его среднее значение на интервале эксплуатации. Однако на практике показатели надежности ЭМС, в частности параметр потока отказов, являются изменяющимися во времени величинами. В силу этого имеет смысл определять такие значения периодичностей ТО, которые обеспечивали бы

на протяжении всего "жизненного" цикла ЭМС максимальный коэффициент готовности.

Тогда задача определения оптимальных периодичностей ТО ЭМС может быть сформулирована следующим образом. Известны закон изменения параметра потока $\Lambda(t)$ и вероятность обнаружения $P_{\text{обн}}$ отказов, продолжительности $\tau_{\text{тр}}$ различных видов ТО, текущего ремонта $\tau_{\text{тр}}$, а также другие характеристики СТО. Определить для любого шага эксплуатации y ($y = \overline{1, Y}$) длительностью T_y такие значения периодичностей T_p^* ТО, которые обеспечивают максимальную величину коэффициента готовности ЭМС. Решение такой задачи состоит из следующих основных этапов:

- 1) построение модели процесса эксплуатации ЭМС;
- 2) вывод расчетного соотношения для коэффициента готовности K_r как функции $K_r = f(\tau_p, T_p, \Lambda(t), \tau_{\text{ТР}}, P_{\text{обн}}, y, \dots)$;
- 3) получение аналитического выражения для определения оптимальных периодичностей q -го вида ТО $T_{pq}^* = f(\tau_p, T_p, \Lambda(t), \tau_{\text{ТР}}, P_{\text{обн}}, y, \dots)$, $q = \overline{1, Q}$.

Решение первого этапа задачи основывается на использовании полумарковской модели процесса эксплуатации ЭМС, заданного на множестве дискретных состояний и возможных переходов на интервале эксплуатации [1,2]. В любой произвольный момент времени ЭМС может находиться в одном из состояний $S_k \in \mathbf{S}$ графа состояний и переходов (ГСП), S_1 - ЭМС работоспособна и готова к применению, S_2 - на ЭМС проводится ТО при условии, что в аппаратуре нет отказов; S_3 - в аппаратуре ЭМС существуют скрытые отказы; S_4 - на ЭМС проводится ТО, во время которого могут выявляться скрытые отказы; S_5 - производится текущий ремонт аппаратуры.

Исчерпывающими характеристиками полумарковского процесса являются матрица условных функций распределения $\underline{F}(t) = \|F_{kl}(t)\|$ времени пребывания ЭМС в состоянии S_k до перехода в состояние S_l ($S_k, S_l \in \mathbf{S}$)

и матрица условных вероятностей переходов

$$\underline{P}(t) = \|P_{kl}(t)\| = \left\| \begin{array}{ccccc} 0 & 1 - P_{\text{от}} & P_{\text{от}} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - P_{\text{обн}} & P_{\text{обн}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\|, k, l = \overline{1, N} (N = 5).$$

Тогда, используя основное соотношение теории марковских цепей и выражение для безусловных функций распределения соответственно:

$$\underline{\Pi} = \underline{\Pi} \cdot \|p_{kl}\|, k, l = \overline{1, N}; \quad (1)$$

$$F_k(t) = \sum_{l=1}^N p_{kl} \cdot F_{kl}(t), k = \overline{1, N}, \quad (2)$$

с учетом условия нормировки $\sum_{k=1}^N \Pi_k = 1$, рассчитываются стационарные вероятности пребывания ЭМС в каждом из $S_k \in \mathcal{S}$ состояний согласно формуле

$$\Pi_k^* = \Pi_k \cdot M_k / \sum_{k=1}^N \Pi_k \cdot M_k, k = \overline{1, 5}, \quad (3)$$

где M_k - среднее время пребывания ЭМС в $S_k \in \mathcal{S}$ состоянии ГСП

$$M_k = \int_0^{\infty} [1 - F_k(t)] dt. \quad (4)$$

За шаг эксплуатации y выбирается временной интервал T_y , в пределах которого характеристики СТО и технического состояния ЭМС остаются неизменными. В частности, параметр потока отказов $\Lambda(t)$ может представлять собой линейно - изменяющуюся функцию времени вида $\Lambda(t) = a_0 + a_1 t$, среднее значение которого рассчитывается как

$$\Lambda_y = \frac{1}{T_y} \int_{(y-1)T_y}^{yT_y} (a_0 + a_1 t) dt = a_0 + T_y (2y - 1). \quad (5)$$

На основании соотношений (1), (2), (4), (5) и (3) находятся аналитические выражения для вероятностей $\Pi_k^* = K_r$ работоспособного состояния, в частности для вероятности Π_1^* , представляющей по своему содержанию коэффициент готовности ЭМС.

$$\Pi_1^* = \frac{1/\Lambda_y (1 - e^{-\Lambda_y T_p})}{1/\Lambda_y (1 - e^{-\Lambda_y T_p}) + \tau_p (1 - P_{от}) + (1 - P_{обн}) \frac{P_{от}}{\Lambda_y} (1 + e^{-\Lambda_y T_p}) P_{обн} \tau_{обн} P_{от} + P_{от} \tau_{от}}. \quad (6)$$

Продифференцировав соотношение (6) по переменной T_p и приравняв полученное выражение к нулю, найдем аналитическую зависимость для определения оптимальной периодичности T_p^* ТО ЭМС, обеспечивающей максимум вероятности $\Pi_1^*(T_p)$ на шаге эксплуатации y как решение кубического уравнения неполного вида методом Кардано [3]

$$T_p^* = -\frac{1}{\Lambda_y} \ln \left(1 - \sqrt[3]{\frac{\beta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 + \left(\frac{\beta}{2}\right)^2}} - \sqrt[3]{\frac{\beta}{2} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 + \left(\frac{\beta}{2}\right)^2}} \right), \quad (7)$$

где $\beta = \Lambda_y \cdot \tau_p / P_{обн}$.

По известным значениям параметров СТО и ЭМС на рисунке 1 изображены графики зависимостей периодичностей T_p^* ТО во времени.

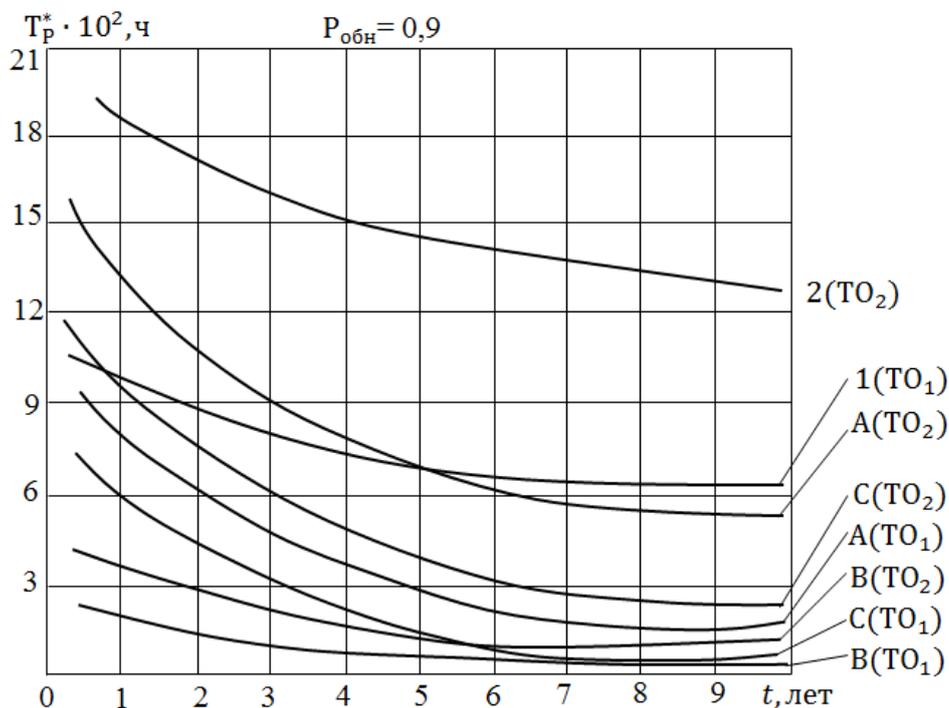


Рис. 1. График зависимостей периодичностей T_p^* ТО во времени

Эти кривые характеризуют изменение периодичностей T_p^* обслуживания на интервале "жизненного" цикла аппаратуры ЭМС типа А, В, С, имеющей различные законы изменения параметра потока отказов при выполнении на ней двух видов ТО: малой (ТО₁) и большой (ТО₂) периодичностей ($q = 1,2$). Из графиков следует, что с ростом параметра $\Lambda(t)$ величина периодичности T_p^* уменьшается и наоборот. Кроме того, в пределах первых трех лет эксплуатации периодичности ТО ЭМС близки к реально установленным, а более трех – изменяются значительно.

Выводы.

1. Полученное на основе полумарковской модели процесса эксплуатации соотношение устанавливает аналитическую связь характеристик СТО и параметров технического состояния ЭМС и дает возможность рассчитать оптимальные из условия обеспечения максимума коэффициента готовности значения периодичностей технических обслуживаний аппаратуры на заданном интервале эксплуатации, что позволит управлять нестационарным процессом эксплуатации ЭМС в целом.

2. Использование конечного множества вариантов ТО и текущего ремонта позволяет ввести понятие стратегии ТО и ремонта, представляющей собой совокупность указаний о порядке обслуживания и ре-

монта ЭМС в любом из ее состояний. Содержание такой стратегии определяется конкретным набором вариантов по всем состояниям ЭМС, задаваемым в виде ГСП. Одна от другой стратегии отличаются хотя бы одним вариантом в любом из состояний этого ГСП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытаний на безотказность. Пер. с англ. Н.А. Ушакова / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Наука, 1984. – 327с.
2. Королюк, В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. думка, 1976. – 184с.
3. Корн, Г.А., Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. 5-е изд. / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1984. – 831с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ОШИНОВКИ

А.А. Казанцев

Россия, Самарский государственный технический университет

В контактных соединениях при ошиновке электролизеров происходят значительные потери электроэнергии. В промышленности широко применяется контактное соединение ошиновки электролизеров, в котором токопроводы устанавливаются внахлест и стягиваются крепежными болтами. При этом контактирующие поверхности соприкасаются максимум в трех контактных точках, и площадь соприкосновения зависит от давления при затягивании болтов. В процессе эксплуатации на контактирующих поверхностях образуется окисная пленка, которая в значительной мере увеличивает контактное сопротивление, в результате которого увеличиваются потери электроэнергии [1].

Известным решением этой проблемы может являться, в частности, устройство по А.С. №1681587, в котором при болтовом соединении шин на один из торцов ошиновки накладывается сварной шов, однако недостатком этого соединения будет являться сварка тяжелой ошиновки из цветных металлов, медь-медь, алюминий-алюминий, алюминий-медь, сталь-медь. Кроме того, это соединение не может быть использовано при ошиновке электролизеров, в которых в качестве анода используется графит и отсутствует возможность очистки контактирующих поверхностей от окисных пленок без демонтажа соединения.

Разработанное автором контактное соединение позволит снизить потери электрической энергии за счет уменьшения переходного сопротивления в контактных соединениях, которое достигается использованием дополнительного токопровода без демонтажа контактного соединения и без нарушения технологического процесса, то есть при протекании тока нагрузки, а также увеличением площади соприкосновения контактирующих пар при болтовом соединении без применения сварки.

Технический результат достигается тем, что пакет шин устанавливают внахлест с чередованием полярности и затем скрепляют между собой при помощи болтов. Для снижения потерь электрической энергии крепежные отверстия используют для установки устройств, обеспечивающих дополнительные токопроводы.

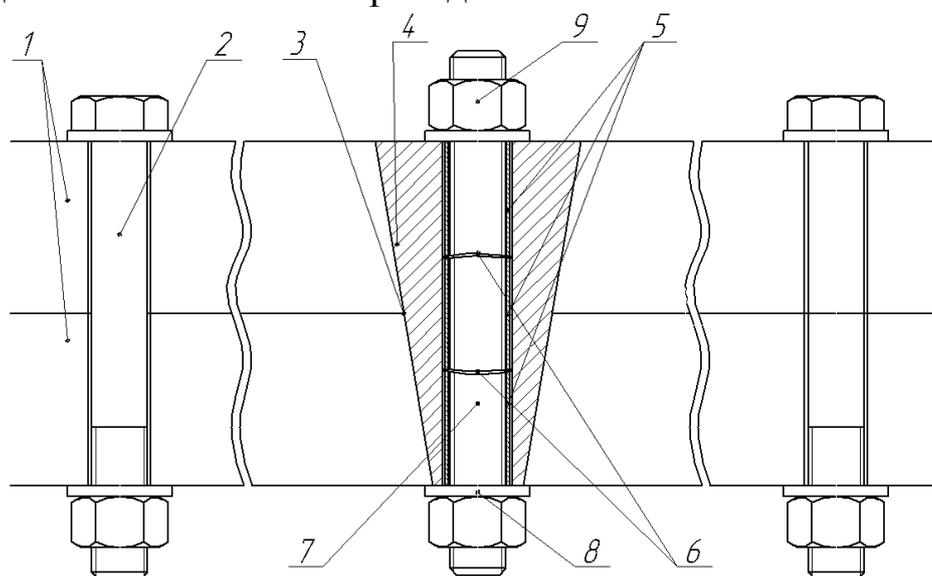


Рис. 1. «Общий вид контактного соединения»

Шины 1 разных полярностей установлены внахлест с чередованием полярности и скреплены между собой с помощью болтов 2. Причем диаметр отверстий в шинах D_1 и диаметр крепежных болтов D_2 находятся в соотношении $D_2 \approx 0,8D_1$. Шины и болты выполнены из одного и того же проводящего материала. Крепежные болты снабжены металлическими 3, 4 и герметизирующими шайбами 5. Объем между боковыми поверхностями крепежного отверстия и болтом заполнен проводящим материалом, таким же, что и шины в виде порошка. При стягивании шин шайбы уплотняют проводящий порошок, который обеспечивает дополнительный токопровод в контактном соединении.

При использовании предполагаемого устройства в катодной ошиновке ртутных электролизеров с контактными парами сталь-медь снижение потерь электрической энергии:

$$\Delta A = (P_{\partial} - P_n)t, [\text{Дж}],$$

где $P_{\partial}t$ - потери электрической энергии до использования дополнительного токопровода в контактном соединении, P_{nt} - потери электрической энергии после использования дополнительного токопровода в контактном соединении, t - расчетное время.

Проведены стендовые испытания модуля контактного соединения электролизера с током нагрузки $I_H = 5000$ А.

Падение напряжения на контактном соединении до использования дополнительного токопровода составило $42 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению $R_{\partial} = 8,4 \cdot 10^{-6}$ Ом.

После разрушения окисной пленки в контактном соединении падение напряжения составило $34 \cdot 10^{-3}$ В, что соответствует переходному сопротивлению $R_{\partial} = 6,8 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Экономия электрической энергии в сутки при работе ртутного электролизера током нагрузки $400 \cdot 10^3$ А и токоподводом из $n = 80$ модулей при использовании предлагаемого контактного соединения составляет $\Delta Q = I_H^2(R_{\partial} - R_n) \cdot n \cdot t = 206,4$ кВт·час.

Стендовые испытания показали, что при использовании предлагаемого изобретения в магистральном шинопроводе из алюминия в электролизном цехе получения хлора снижение потерь электрической энергии в одном контактном соединении составляет 15-20%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцев, А.А. Сокращение переходного сопротивления в высоко-точных контактных соединениях / А.А. Казанцев, И.А. Косорлуков // Современные исследования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Сборник научных статей – Курск, 2012. – С. 80–83.

О МЕТОДИКЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ЦИКЛОННЫХ УСТРОЙСТВ

С.В. Карпов, А.А. Загоскин

*Россия, Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск*

Авторами было предложено использовать новый принцип организации внешней рециркуляции газов в циклонных устройствах (топках, печах и др.), при котором транспортировка теплоносителя с боковой поверхности циклонной камеры, где температура его наиболее высокая, в приосевую область осуществляется за счет перепада давления между пристенной и приосевой зонами циклонного потока [1].

Экспериментальное исследование аэродинамики циклонных устройств с внешней саморецркуляцией выполнено на металлической модели диаметром $D_k=201\text{ мм}$ (рис. 1), основные геометрические характеристики которой приведены в работе [1]. Для определения коэффициента саморецркуляции $k_c=Q_{\text{рец}}/Q_{\text{вх}}$ ($Q_{\text{рец}}$, $Q_{\text{вх}}$ – расходы рецркулируемого и входного газов) модель была дополнена камерой смешения 2 с внутренним диаметром 51 мм и длиной 450 мм, в мерном сечении которой определялся расход $Q_{\text{рец}}$. В эксперименте k_c изменялся в диапазоне 0..0.6.

На рисунке 2 показаны радиальные профили тангенциальной скорости w_φ в объёме циклонной камеры с безразмерным диаметром выходного канала $\bar{d}_{\text{вых}}=d_{\text{вых}}/D_k=0.3$, полученные экспериментально при различных значениях k_c . Как видно из рисунка 2, с увеличением k_c уровень w_φ в ядре потока снижается, а радиус $r_{\varphi\text{м}}$ положения максимума w_φ смещается к боковой стенке. Аналогичным образом изменяется поле тангенциальных скоростей и при $\bar{d}_{\text{вых}}=0.2; 0.4$.

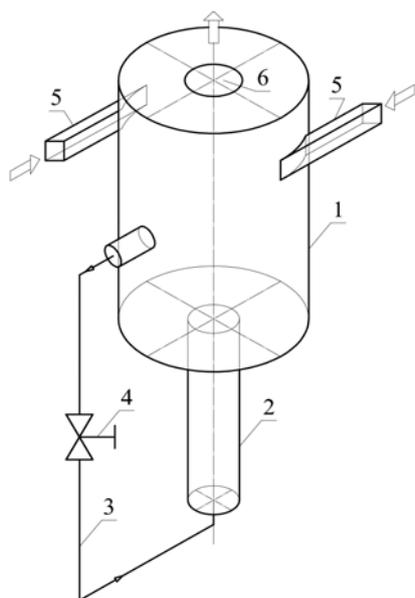


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

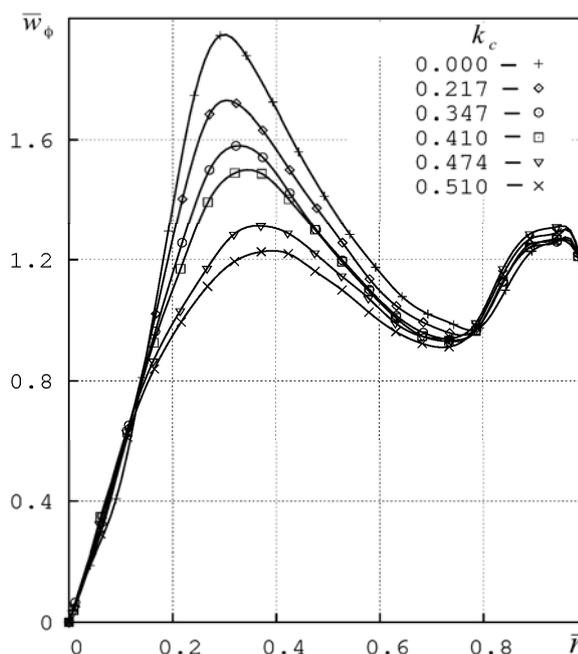


Рис. 2. Распределение тангенциальной скорости по радиусу при $\bar{d}_{\text{вых}}=0.3$

Одна из основных задач аэродинамического расчета циклонного устройства, в том числе и рецркуляционного – установить распределение тангенциальной скорости по радиусу его рабочего объёма, т. к. именно оно определяет многие аэродинамические характеристики устройства [2]: величину крутки потока, максимальную тангенциальную скорость $w_{\varphi\text{м}}$, радиус $r_{\varphi\text{м}}$, распределения статического P_c и полного $P_{\text{п}}$

давления по радиусу, коэффициенты аэродинамического сопротивления и аэродинамической эффективности и др.

Найдём аналитическое распределение тангенциальной скорости по радиусу циклонной камеры на основе осредненной по Рейнольдсу системы уравнений Навье-Стокса при следующих допущениях: 1) поток осесимметричный, стационарный, несжимаемый; 2) турбулентная вязкость ν_t не изменяется по радиусу и значительно превышает молекулярную; 3) соотношение радиальной w_r и тангенциальной w_ϕ компонент скорости постоянно по радиусу [3].

Учитывая указанные допущения, уравнение движения для тангенциальной компоненты скорости можно представить в следующей форме [4]:

$$w_r \frac{dw_\phi}{dr} + \frac{w_\phi w_r}{r} = \nu_t \left(\frac{d^2 w_\phi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw_\phi}{dr} - \frac{w_\phi}{r^2} \right). \quad (2)$$

Используя условие на границе ядра течения $w_{rя}/w_{\phiя} = w_r/w_\phi = \text{const}$, уравнение (2) преобразуем к виду:

$$\frac{d(w_\phi r)}{dr} = \frac{\nu_t}{w_{rя} r_я} \frac{1}{w_\phi / w_{\phiя} \cdot r / r_я} \left(r \frac{d^2(w_\phi r)}{dr^2} - \frac{d(w_\phi r)}{dr} \right). \quad (3)$$

Величина $\text{Re}_r = w_{rя} r_я / \nu_t$ (ν_t – турбулентная вязкость), называемая радиальным турбулентным числом Рейнольдса [3], в данном случае рассматривается как число подобия. Представим уравнение (3) в безразмерном виде, используя выражения $w_\phi = w_\phi / w_{\phiя}$; $\psi = r / r_я$:

$$\frac{d(\bar{w}_\phi \psi)}{d\psi} = \frac{1}{\text{Re}_r (\bar{w}_\phi \psi)} \left(\psi \frac{d^2(\bar{w}_\phi \psi)}{d\psi^2} - \frac{d(\bar{w}_\phi \psi)}{d\psi} \right). \quad (4)$$

Решение дифференциального уравнения (4) выглядит следующим образом:

$$\bar{w}_\phi \psi = \frac{1}{\text{Re}_r} (2C_1 k^2 + 4)^{\frac{1}{2}} \text{th} \left(\frac{1}{2} \left((2C_1 k^2 + 4)^{\frac{1}{2}} C_2 - (2C_1 k^2 + 4)^{\frac{1}{2}} \ln(\psi) \right) \right) - 2, \quad (5)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Заменим $(2C_1 k^2 + 4)^{1/2} = \gamma$ и упростим уравнение (5), используя выражение (6):

$$\text{th} \left(\frac{1}{2} (\gamma C_2 - \gamma \ln(\psi)) \right) = \frac{e^{\gamma C_2 - \gamma \ln(\psi)} - 1}{e^{\gamma C_2 - \gamma \ln(\psi)} + 1} = \frac{e^{\gamma C_2} \psi^{-\gamma} + 1 - 2}{e^{\gamma C_2} \psi^{-\gamma} + 1} = 1 - \frac{2}{(C_2 / \psi)^\gamma + 1}; \quad (6)$$

$$\left(\frac{C_2}{\psi} \right)^\gamma = \frac{\gamma + 2 + \text{Re}_r \bar{w}_\phi \psi}{\gamma - 2 - \text{Re}_r \bar{w}_\phi \psi}. \quad (7)$$

Из граничных условий задачи найдем постоянные интегрирования

C_1 и C_2 : 1) при $\psi=0$ и $\bar{w}_\varphi=0$ $\gamma=2$; 2) при $\psi=1$ и $\bar{w}_\varphi=1$ $C_2^2 = -(4+Re_r)/Re_r$. После подстановки C_1 и C_2 в уравнение (7) получим:

$$\bar{w}_\varphi = \frac{4\psi}{Re_r(1-\psi^2)+4}. \quad (8)$$

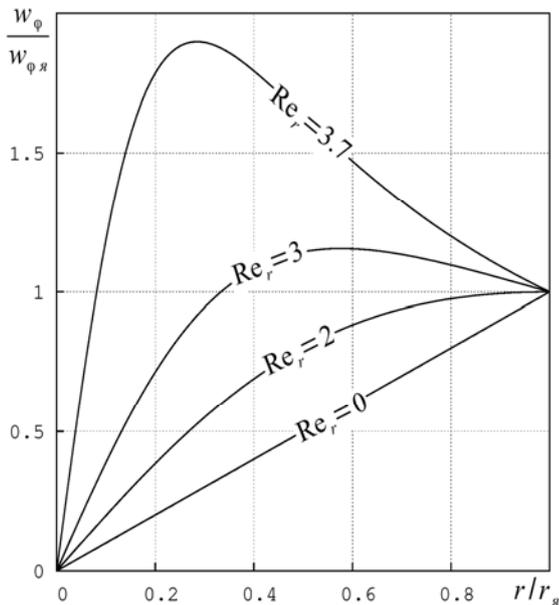


Рис.3. Распределение тангенциальной скорости по радиусу при различных $|Re_r|$

На рисунке 3 показаны радиальные профили безразмерной тангенциальной скорости, рассчитанные по формуле (8) при различных значениях Re_r . Как видно из рисунка 3, с уменьшением Re_r максимум w_φ смещается к периферии, общий уровень w_φ снижается. В предельном случае при $Re_r=0$ отсутствует квазипотенциальное течение, и весь объем газа вращается как квазитвёрдое тело. Существование данного режима подтверждается результатами численного моделирования циклонного течения при $k_c=1$, а также экспериментальными данными [4].

Найдем положение и величину максимума тангенциальной скорости, определив экстремум функции (8). При $(d \bar{w}_\varphi) / d\psi=0$:

$$\frac{r_{\varphi m}}{r_a} = \sqrt{-\frac{4}{Re_r} - 1}; \quad \frac{w_{\varphi m}}{w_{\varphi a}} = \frac{2\sqrt{-4/Re_r - 1}}{Re_r + 4}. \quad (9)$$

Используя выражения (9), перейдем к безразмерным координатам $\bar{w} = \bar{w}_\varphi / \bar{w}_{\varphi m}$; $\eta = r / r_{\varphi m}$:

$$\frac{-2\sqrt{-4/Re_r - 1}}{Re_r + 4} = \frac{4\eta\sqrt{-4/Re_r - 1}}{Re_r(1-\eta^2(-4/Re_r - 1))+4} = \frac{4\eta\sqrt{-4/Re_r - 1}}{(\eta^2 + 1)(Re_r + 4)}. \quad (10)$$

Формула (10) после сокращений преобразуется к виду известной аппроксимации w Вулиса-Устименко [4] и становится независимой от радиального турбулентного числа Рейнольдса:

$$\bar{w} = \frac{2\eta}{\eta^2 + 1}. \quad (11)$$

Выражения для радиуса η_a и Re_r (9) можно представить в виде:

$$\eta_a = \frac{r_a}{r_{\varphi m}} = \sqrt{-\frac{Re_r}{4 + Re_r}}; \quad Re_r = \frac{-4\eta_a^2}{\eta_a^2 + 1}. \quad (12)$$

Зависимость (11) запишем в обобщённом виде [2]

$$\bar{w} = \left(\frac{2\eta}{\eta^2 + 1} \right)^n, \quad (13)$$

где n – показатель степени, определяемый условиями генерации закрутки: достижения максимума циркуляции $\Gamma = \bar{w} \cdot \eta$ на границе ядра,

$$n = \frac{\eta_y^2 + 1}{\eta_y^2 - 1} = -\frac{2}{\text{Re}_r + 2}.$$

Использование радиального турбулентного числа Рейнольдса удобно для анализа аэродинамики циклонных рециркуляционных устройств с отбором газа с их боковой поверхности, т. к: 1) исходя из уравнения (12) и эмпирических зависимостей для r_y и $r_{\text{фм}}$, приведенных в работе [2], оно должно определяться соотношением площадей входа $f_{\text{вх}}$ и выхода $f_{\text{вых}}$ потока; 2) величина радиального расхода $w_r r$ изменяется обратно пропорционально k_c ; 3) изменение величины v_t также можно представить в виде функции k_c ; 4) при $k_c=1$ значение $\text{Re}_r=0$. Следуя указанным предположениям, Re_r можно описать уравнением вида:

$$\text{Re}_r = A \text{Ko}^\beta, \quad (14)$$

где A, β – опытные константы; $\text{Ko} = \left(\frac{f_{\text{вх}}}{f_{\text{вых}}} (1 - k_c^{1.6}) \right)$ – безразмерный комплекс.

На рис. 4 показана зависимость (14), где Re_r определено из экспериментальных данных по зависимостям (12). Расчетные соотношения, обозначенные на рисунке сплошными линиями, имеют следующий вид:

$$\text{Re}_r = 4.5 \text{Ko}^{0.31} \quad \text{при } f_{\text{вх}}/f_{\text{вых}} < 0.52; \quad (15)$$

$$\text{Re}_r = 3.7 \text{Ko}^{0.04} \quad \text{при } f_{\text{вх}}/f_{\text{вых}} > 0.52. \quad (16)$$

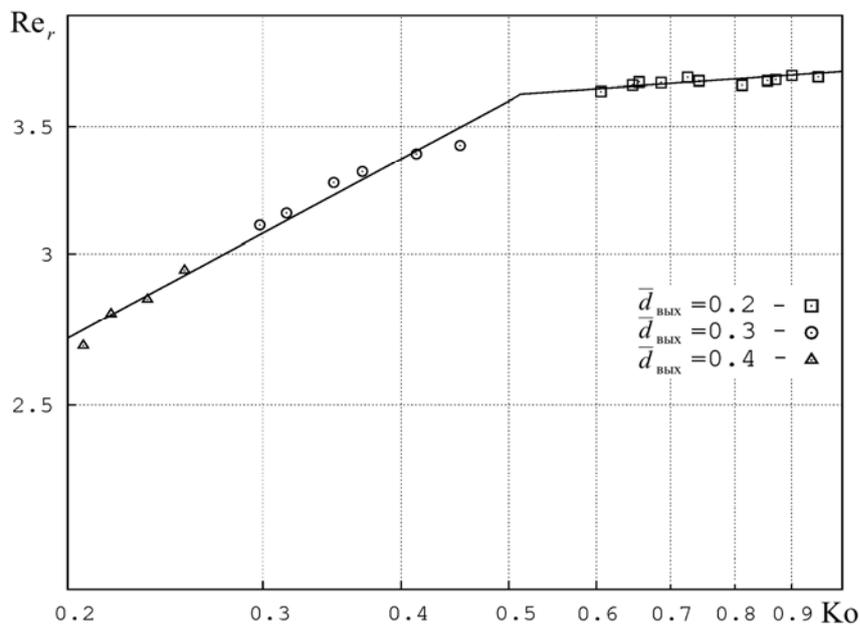


Рис.4. Зависимость Re_r от Ko

На рисунке 5 в качестве примера показано сопоставление опытного распределения $\bar{w} = \bar{w}(\eta)$, (обозначено значками) с аналитическим по формуле (13) (линия), где Re_r определено по (15). Как видно из представленных данных, расчётная кривая \bar{w} вполне удовлетворительно согласуется с экспериментальной.

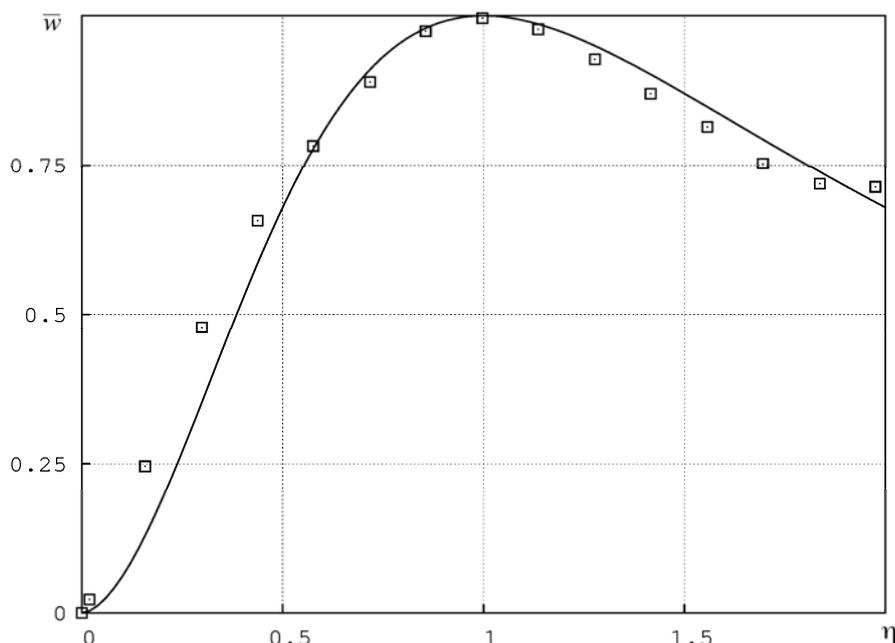


Рис.5.- Распределение тангенциальной скорости по радиусу при $\bar{d}_{\text{вих}}=0.3$,

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов, С.В. К вопросу о физическом моделировании внешней саморциркуляции газов в циклонных устройствах / С.В. Карпов, Э.Н. Сабуров, А.А.Загоскин // Сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конференции «Автоматизация и энергосбережение». – Вологда, 2012 г. – С.174 – 177.
2. Карпов, С.В. Высокоэффективные циклонные устройства для очистки и теплового использования газовых выбросов / С.В.Карпов, Э.Н. Сабуров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 504 с.
3. Гольдштик, М.А. Вихревые потоки / М.А. Гольдштик. – Новосибирск: Наука, 1981. – 365 с.
4. Вулис, Л.А. Об аэродинамике циклонной топочной камеры / Л.А. Вулис, Б.П. Устименко // Теплоэнергетика. – 1954, № 9. – С. 3-10.
5. Брук, Ю.Г. Исследование движения газов и конвективного теплообмена в вертикальных рециркуляционных печах / Ю.Г. Брук, А.У. Пуговкин // Оптимизация металлургических процессов. – 1971, №.5. – С. 351-355.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В. Д. Кассов, В. М. Семенов, А. В. Иванык

Украина, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Направление развития электрошлаковых технологий во многом определяется техническими и технологическими проблемами, которые стоят перед современной промышленностью.

Создание машин большой единичной мощности влечет за собой укрупнение отдельных деталей узлов, изготовление которых в цельном исполнении влечет за собой определенные трудности. Электрошлаковые технологии позволяют решить эту проблему путем создания сварных заготовок большой толщины (более 2000 мм). Соответственно, развитие электрошлаковой сварки должно происходить как по пути совершенствования технологии, так и по пути создания новых видов оборудования и новых решений по технике выполнения сварки заготовок большой толщины [1, 2].

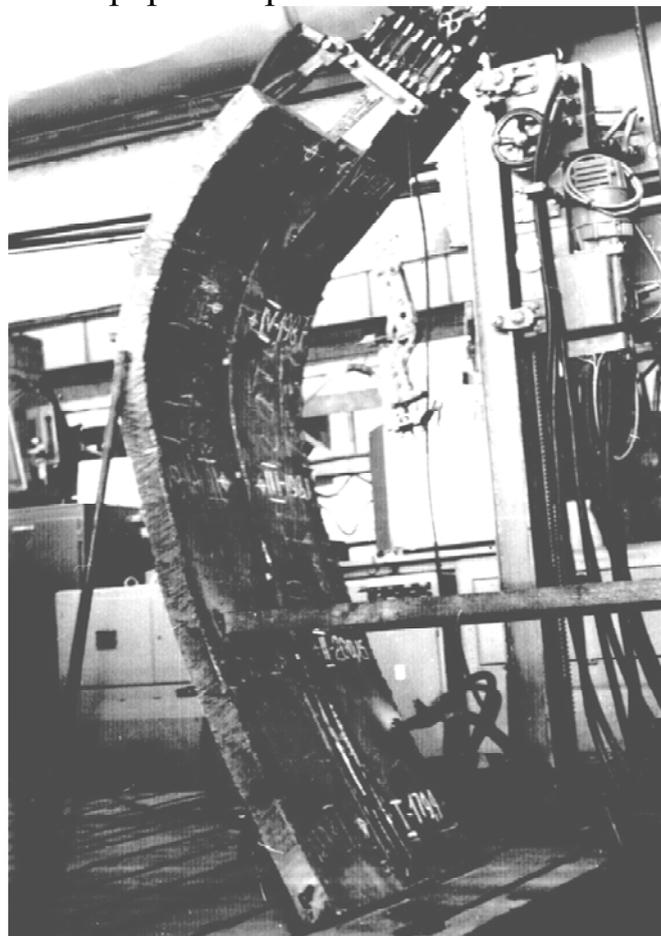
Электрошлаковая сварка нашла широкое применение в различных отраслях машиностроения. С использованием электрошлаковых технологий изготавливаются детали ответственного значения: роторов генераторов, тихоходных турбин, цилиндров гидропрессов, реакторов атомных электростанций и др. Электрошлаковую сварку применяют не только для создания вертикальных швов, но и для заварки криволинейных стыков [1]. Пример натурального образца детали днища реактора криволинейной формы, выполненной с использованием электрошлаковой сварки, (а) и фрагмент макрошлифа сварного соединения (б) представлен на рисунке 1.

Увеличение мощности создаваемых машин неразрывно связано с повышенными требованиями к их надежности и работоспособности, которые во многом зависят от материала, используемого для их создания.

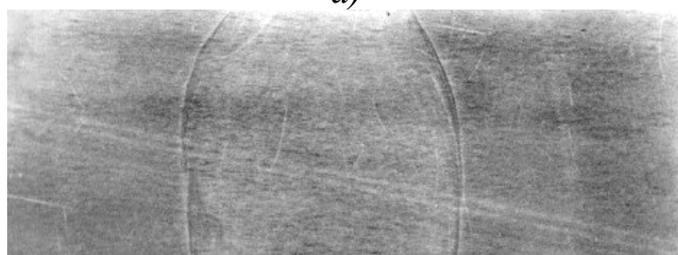
Применение новых высокопрочных легированных сталей является одним из самых перспективных способов достижения качества и надежности создаваемых крупных сварных конструкций [2, 3].

Острая потребность в высокопрочных легированных сталях, обладающих необходимыми как механическими свойствами, так и технологичностью в изготовлении, по всему переделу: выплавке, ковке, термической обработке, сварке и механической обработке – подтверждается изготовлением уникальных прокатных станков и мощных гидравлических прессов. Анализ производства крупных сварных конструкций на

заводах тяжелого машиностроения показывает, что применение легированных сталей для осуществления электрошлакового процесса создания крупных заготовок непрерывно растет.



а)



б)

Рис. 1. Примеры использования электрошлаковых технологий в тяжелом машиностроении:

- а – натурный образец детали днища реактора;*
- б – фрагмент макрошлифа (x100) сварного соединения детали днища реактора*

Так при сварке заготовок из высокоуглеродистой стали толщиной 600 мм одной из основных трудностей является получение сварного соединения без трещин и дефектов. Поэтому одним из направлений развития электрошлаковой сварки высокоуглеродистых сталей является со-

вершенствование технологического процесса изготовления заготовок, а также разработка технологии последующей термической и механической обработки [4].

Использование в производстве среднелегированных сталей для заготовок кузнечно-прессового и прокатного оборудования предъявляет повышенные требования к механическим свойствам и химическому составу металла шва. Все это требует разработки новых материалов, сварочной проволоки, флюса, а также материала для пластин и направляющих трубок плавящихся мундштуков.

Одним из важнейших факторов эффективности и качества является механизация и автоматизация производственных процессов. В области электрошлаковой сварки, при которой время на выполнение подготовительных работ составляет около 70-80 %, этот фактор особенно важен. Наиболее продолжительными подготовительными и вспомогательными операциями при электрошлаковой сварке являются: установка изделия, снятия его после сварки; изготовление, установка и корректировка плавящихся мундштуков; подготовка аппарата к сварке и другие операции, механизация которых позволила бы несколько сократить время на их выполнение и повысить эффективность процесса электрошлаковой сварки в целом.

Качество сварных соединений во многом также зависит от режима электрошлакового процесса, выбор которого осуществляется экспериментально или расчетным путем. Точность соблюдения режима при сварке изделия зависит как от характеристики и состояния имеющегося сварочного оборудования, так и от квалификации сварщика. Несоблюдение, например, требуемой величины сварочного напряжения может привести к появлению непровара кромок, а завышенная в сравнении с заданной скорость подачи электродной проволоки ведет к образованию трещин. Устранение субъективного фактора, определяемого участием оператора в корректировке режима сварки, позволило бы существенно повысить качество сварных соединений. В связи с этим актуальной является разработка системы автоматического управления процессом электрошлаковой сварки, например корректировки напряжения в зависимости от величины провара кромок, а скорости подачи электродной проволоки – от характера кристаллизации металла шва.

Электрошлаковая сварка сопровождается термическим циклом, при котором в металле околошовной зоны образуется характерная крупнозернистая структура с пониженным значением ударной вязкости, что требует проведения высокотемпературной термической обработки сварных соединений. Осуществление термической обработки не всегда экономически оправдано и значительно увеличивает цикл изготовления

изделий. Решение вопросов отмены или сокращения термической обработки является актуальным и может осуществляться по следующим направлениям: совершенствование технологии выплавки стали, предварительная термическая обработка заготовок перед сваркой, применение форсированных режимов сварки с минимальным тепловложением, применение местной термообработки вместо общей, введение в сварочную ванну дополнительного присадочного металла [1].

При разработке технологических процессов электрошлаковой сварки изделий из новых марок сталей и использовании новых сварочных материалов очень важно знать характеристики этих материалов по свариваемости. Для этого существуют специальные методики оценки свариваемости сталей, исключая необходимость изготовления крупных проб. Дальнейшее совершенствование существующих и разработка новых способов изучения свариваемости позволит повысить эффективность электрошлакового процесса.

Представленные направления совершенствования технологии электрошлакового процесса требуют углубленного рассмотрения и изучения, так как они имеют весомое значение в развитии создания машин и деталей тяжелого машиностроения. Следовательно, развитие электрошлаковых технологий является актуальным направлением в создании крупных сварных конструкций тяжелого и транспортного машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов В. М. Изготовление крупных сварных конструкций с применением электрошлаковой сварки: монография. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 228 с.
2. Иванык А. В. Анализ эффективности электрошлаковых технологий с учетом современных требований к производственным условиям. / А. В. Иванык, В. М. Семенов. // Материалы 4-й межвузовской научно-технической конференции «Энерго- та ресурсосберегающие технологии при эксплуатации машин и оборудования». – Донецк, 2012. – С. 41–43.
3. Семенов В. М. Технология ремонта трещин в станине ножниц слябинга. / В. М. Семенов, А. В. Иванык, В. Д. Кассов, В. К. Заблоцкий. // Сб. научных трудов «Надежность инструмента и оптимизация технологических систем». – Краматорск, 2012. – Вип. №31. – С. 174-179.
4. Semenov V. M. Manufacture of welded designs from the carbon and alloyed steels in machine building. / V. M. Semenov, Ivanyk A. V., Taric M., Serifi V. S. // *Metalurgia international*. – 2013. – №9 (vol. XVIII). – P. 59-64.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ЖИДКОЙ СТАЛИ, РАЗЛИВАЕМОЙ НА МАШИНАХ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

А.Н. Кибардин, С.В. Лукин

Россия, Череповецкий государственный университет

В настоящее время наибольшее количество стали разливается на слябовых криволинейных машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). МНЛЗ является современным высокотемпературным металлургическим агрегатом, в котором температура жидкой стали, подаваемой в кристаллизатор МНЛЗ, составляет примерно 1550 °С. Основная технологическая задача МНЛЗ – превратить жидкую сталь в твердую заготовку правильной формы (сляб), для чего нужно отвести от металла значительное количество теплоты.

На пяти слябовых криволинейных МНЛЗ ЧерМК ОАО «Северсталь» разливается примерно 10 млн. тонн стали в год; при числе часов в году, равном 8760 ч, средняя производительность 5-ти МНЛЗ составляет примерно $G = 1140 \text{ т/ч} = 317 \text{ кг/с}$. Энтальпия жидкой углеродистой стали, подаваемой в кристаллизаторы МНЛЗ, при температуре 1550 °С, отсчитанная от температуры окружающей среды (0 °С), и включающая теплоту затвердевания (272 кДж/кг), составляет $h_{\text{вх}} \cong 1336 \text{ кДж/кг}$. Количество теплоты, поступающее с жидкой сталью в кристаллизаторы МНЛЗ в единицу времени, в среднем составляет: $Q = G \cdot h_{\text{вх}} = 423 \text{ МВт} = 1520 \text{ ГДж/ч}$. В настоящее время примерно половина этой теплоты полностью теряется в системе охлаждения МНЛЗ, остальное при охлаждении разлитых слябов после МНЛЗ. При этом в нагревательные печи прокатного производства слябы поступают в холодном состоянии.

Часть теплоты (примерно 70 %), отводимой в системе охлаждения МНЛЗ, несложно утилизировать, получая при этом горячую воду с температурой 100 °С и выше [1]. Для этого кристаллизаторы и ролики переводятся на охлаждение химически очищенной водой, и при тех же расходах и скоростях охлаждающей воды в существующих каналах кристаллизаторов и роликов химочищенная вода будет нагреваться в кристаллизаторе, например, не от 30 °С до 40 °С, а от 100 до 110 °С, а в роликах вода будет нагреваться не от 30 °С до 50 °С, а от 90 до 110 °С. Нагретая в кристаллизаторах и роликах химочищенная вода охлаждается в промежуточных поверхностных теплообменниках, нагревая сетевую воду, например, до 100 °С. Окончательный подогрев сетевой воды до нужной температуры производится на заводской или городской котельной.

Использование этой сетевой воды в системе теплоснабжения ЧерМК или индустриальной части г. Череповца даст экономию условного топлива, сжигаемого в котельной, в размере около 100 тыс. т.у.т. в год [1].

Чтобы использовать физическую теплоту слябов, выходящих из МНЛЗ, в нагревательных печах, необходимо повышать качество разлитого металла для полного устранения трещин, образующихся на поверхности слябов в процессе разлива. Для этого можно проводить зачистку слябов в горячем состоянии на машине огневой зачистки, полностью срезая поверхностный слой толщиной 2÷5 мм, однако при этом значительно уменьшается выход годного металла.

Чтобы не снижать выход годного металла, в системе автоматизированного управления криволинейных МНЛЗ предлагается использовать способ вторичного охлаждения слябов, разработанный на кафедре «Теплоэнергетика и теплотехника» Череповецкого государственного университета [2]. Данный способ, реализованный в компьютерной программе, обсуждался со специалистами конвертерного производства ЧМК и был рекомендован для испытания на МНЛЗ № 3. Способ позволяет выдерживать рациональную температуру поверхности непрерывно разливаемого сляба в зоне вторичного охлаждения при динамических режимах разлива, когда изменяются скорость вытягивания сляба и уровень мениска жидкого металла в кристаллизаторе. При этом резко снижается вероятность возникновения поверхностных трещин при разгибе сляба в криволинейной МНЛЗ.

Слябы, выходящие из МНЛЗ без поверхностных трещин, нет необходимости охлаждать (для контроля поверхности сляба и ее зачистки), их следует сразу помещать в термостаты и транспортировать в прокатное производство, сохраняя их физическую теплоту. Для этого также нужно повышать организацию производства, чтобы готовые слябы не залеживались в штабелях после разлива, а сразу направлялись на прокатку.

При среднемассовой температуре слябов, загружаемых в методические нагревательные печи прокатного производства, равной 1000 °С, удельный расход топлива в печах снижается примерно в 6 раз, например, от 85 кг у.т. до 15 кг у.т. на 1 тонну стали. Применительно к ЧерМК это даст экономию топлива в нагревательных печах в размере 700 тыс. т.у.т. в год.

При снижении расхода топлива в нагревательных печах в шесть раз примерно во столько же раз уменьшается выход пара из котлоутилизаторов, установленных за печами, например с 300 т/ч пара до 50 т/ч. Недостаток пара придется компенсировать от заводских ТЭЦ, где можно сжигать более дешевое топливо (доменный газ, промпродукт). В

летнее время, когда котлы-утилизаторы и так отключают, этой проблемы не будет.

Суммарная экономия топлива (природного газа) в котельных и нагревательных печах при комплексном использовании теплоты жидкой стали составит примерно 800 тыс. т.у.т. в год или 670 млн. м³, что составляет около 20 % от количества природного газа, потребляемого на ЧерМК. В денежном выражении экономия на природном газе при его цене 3 руб/м³ составит приблизительно 2 млрд. руб. в год.

Отметим, что утилизация теплоты охлаждения слябов в системе теплоснабжения предприятия дает значительно меньшую экономию топлива, чем использование физической теплоты слябов в нагревательных печах. В принципе, на МНЛЗ можно получать слябы со среднемассовой температурой 1200÷1250 °С, необходимой для прокатки, и помещать их в термостаты для выравнивания температуры по сечению. В этом случае потребность в нагревательных печах вообще исчезает, и за счет этого экономия топлива дополнительно возрастет на 150 тыс. т.у.т. в год (при производительности 10 млн. тонн проката в год).

Основные затраты, необходимые для комплексного использования теплоты жидкой стали, разливаемой на МНЛЗ, включают в себя установку промежуточных теплообменников для охлаждения воды, нагретой в кристаллизаторах и роликах, прокладку участка тепловой сети, связывающей сталеразливочный цех с заводской котельной, закупку или изготовление термостатов для сохранения физической теплоты слябов. Отметим, что оборудование криволинейных МНЛЗ ЧерМК уже переведено или переводится на охлаждение химочищенной водой, что включает в себя также установку промежуточных теплообменников.

Необходимые капитальные затраты окупятся достаточно быстро (за несколько месяцев), а себестоимость одной тонны проката при комплексном использовании теплоты жидкой стали снизится примерно на 200 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин, С.В. Использование теплоты охлаждения стали, разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок, в системе теплоснабжения предприятия / С.В. Лукин, Д.В. Поселожный, А.Н. Кибардин // Промышленная энергетика. – 2013. – № 5. – С. 7 – 9.
2. Пат. 2286863 Российская Федерация, МПК В22 D 11/22, 11/124. Способ управления вторичным охлаждением сляба в машине непрерывного литья заготовок при стационарных и переходных режимах разлива / Лукин С.В., Калягин Ю.А., Ордин В.Г., Шестаков Н.И. и др. – 2004135842/02; заявл. 07.12.2004; опубл. 10.11.2006, Бюл. № 31. – С. 289 – 290.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ СДВИГА ФАЗ РАБОТЫ КЛАПАНОВ И ПЛУНЖЕРА ПОРШНЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В.Н. Колпаков

Россия, Вологодский государственный университет

Клапанное распределение отличается большой надежностью и долговечностью, а также высоким объемным КПД. Гидравлические машины с этим распределением свободны от гидравлических ударов и компрессии жидкости в цилиндрах, а также пригодны для работы при высоких температурах и давлениях (70 МПа и более) [1].

Для использования гидромашин в двигательном режиме применяют клапанное распределение, приводимое в движение принудительно. В этом случае клапаны приводятся в движение кулачками, расположенными на валу машины. Однако при высоких давлениях усилия, необходимые для открытия клапанов, резко возрастают и гидравлическая машина становится слишком громоздкой, что не позволяет установить ее, например, на шпиндельный узел станка. В связи с этим предложен новый способ – гидростатическое открытие клапанов в двигательном режиме [2]. Он заключается в том, что открытие клапанов происходит автоматически в момент выравнивания энергетических уровней, а в открытом состоянии клапана управляются принудительно. Управление клапанами в открытом состоянии производится кулачками, которые в угловом положении смещены по отношению к эксцентриситету вала машины. Это обеспечивает необходимый сдвиг фаз φ_0 в работе клапанов и плунжера.

Известно [3], что величина объемных потерь рабочей жидкости в единицу времени для системы «поршень-цилиндр» определяется соотношением:

$$\Delta Q_n = K_{V_n} q_n r_n^{1-\alpha_1} n_n^{1-\alpha_2} \frac{p^{\alpha_3}}{\gamma_n^{\alpha_4}},$$

где K_{V_n} - коэффициент пропорциональности, постоянный для данной гидромашин; q_n - удельная постоянная гидромашин; r_n - параметр регулирования гидромашин; γ_n - вязкость механической смеси воздуха и рабочей жидкости; n_n - скорость вращения; p - давление в рабочей клетке.

Полагая $\alpha_3 = 1$ и $n_n = \frac{\omega}{2\pi}$, можно написать:

$$\Delta Q_n = \frac{D \omega^{1-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} p, \quad (1)$$

где

$$D = \frac{K_{V_n} q_n r_n^{1-\alpha_1}}{(2\pi)^{1-\alpha_2}}.$$

Обозначаем через t_0 момент закрытия выпускного клапана и через V_0 - объем рабочей смеси в цилиндре в этот момент. Тогда уравнение неразрывности для замкнутого объема жидкости после момента t_0 может быть записано в виде:

$$-Fl\omega \sin \omega t = \left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \frac{\partial p}{\partial t} + D \frac{\omega^{1-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} p, \quad (2)$$

где F -площадь поршня; l - длина кривошипа; B - модуль упругости механической смеси воздуха и рабочей жидкости; C - жесткость механической системы «цилиндр-поршень-механические преобразователи-цилиндр».

Момент открытия напорного клапана соответствует условиям $\omega t = 0$.

Решая уравнение (2) с начальным условием $p(0) = P_H$ (P_H - давление в напорной системе) и разлагая в ряд Маклорена, получаем приближенное выражение для $p(t)$ с точностью до слагаемых третьего порядка малости:

$$p(t) = P_H - \frac{P_H \omega^{1-\alpha_2} D}{\left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}} t - \frac{D \omega^2 t^2}{2}. \quad (3)$$

Учитывая, что $p(t) = p_{сл}$ ($p_{сл}$ - давление в сливной системе), приходим к уравнению для нахождения момента t_0 закрытия сливной магистрали:

$$p_{сл} = P_H - \frac{P_H \omega^{1-\alpha_2} D}{\left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}} t_0 - \frac{D \omega^2 t_0^2}{2}, \quad (4)$$

откуда
$$t_0 = \frac{-P_H \omega^{-\alpha_2} D - \sqrt{P_H^2 \omega^{-\alpha_2} D^2 + 2D \left(\frac{V_0}{B} + CF \right)^2 \gamma_n^{2\alpha_4} (P_H - p_{сл})}}{\omega D \left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}}.$$

Полагая $\omega t_0 = -\varphi_0$, находим значение угла сдвига фаз в момент закрытия выпускного клапана:

$$\varphi_0 = \frac{P_H \omega^{-\alpha_2} D + \sqrt{P_H^2 \omega^{-\alpha_2} D^2 + 2D \left(\frac{V_0}{B} + CF \right)^2 \gamma_n^{2\alpha_4} (P_H - p_{сл})}}{D \left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}}. \quad (5)$$

Если величина угловой частоты удовлетворяет условию:

$$\frac{2 \left(\frac{V_0}{B} + CF \right)^2 \gamma_n^{2\alpha_4} (P_H - p_{сл})}{P_H \omega^{-\alpha_2} D} \ll 1,$$

то можно получить упрощенную формулу для оценки φ_0 :

$$\varphi_0 = \frac{2 \omega^{-\alpha_2} P_H}{\left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}}. \quad (6)$$

Потери рабочей смеси в системе «поршень-цилиндр» с момента закрытия выпускного клапана и до момента открытия напорного клапана вычисляются интегрированием: $Q_n = \int_{t_0}^0 \Delta Q_n dt$.

Используя соотношение (1), получим: $Q_n = \frac{D\omega^{1-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} \int_{t_0}^0 p(t) dt$; и далее с учетом (3) находим:

$$Q_n = \frac{D\omega^{1-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} t_0 \left(\frac{D\omega^2 t_0^2}{6} + \frac{p_H \omega^{1-\alpha_2} D t_0}{2 \left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}} - p_H \right).$$

Из соотношения (4) получаем: $\frac{p_H \omega^{1-\alpha_2} D t_0}{2 \left(\frac{V_0}{B} + CF \right) \gamma_n^{\alpha_4}} = \frac{p_H - p_{сл}}{2} - \frac{D\omega^2 t_0^2}{4}$.

Таким образом, можно написать: $Q_n = \frac{D t_0 \omega^{1-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} \left(\frac{D\omega^2 t_0^2}{12} + \frac{p_H + p_{сл}}{2} \right)$.

Полагая в этой формуле $\omega t_0 = -\varphi_0$, получаем окончательно:

$$Q_n = \frac{D\varphi_0 \omega^{-\alpha_2}}{\gamma_n^{\alpha_4}} \left(\frac{D\varphi_0^2}{12} + \frac{p_H + p_{сл}}{2} \right).$$

Потери работы на сжатие рабочей смеси равны:

$$A_n = Fl \int_{t_0}^0 p(t) d \cos(\omega t) = Fl \int_0^{\varphi_0} p(t) \sin \omega t dt.$$

Воспользовавшись соотношением (3), а также принимая $\omega t_0 = -\varphi_0$ и разлагая полученное выражение в ряд Маклорена, получаем с точностью до слагаемых третьего порядка малости: $A_n = Fl \frac{\varphi_0^3}{2}$.

Отсюда находим наибольший допустимый угол $\varphi_{0 \max}$:

$$\varphi_{0 \max} = \sqrt{\frac{2A_n}{Fl}}.$$

Исследуем режимы работы гидромашины в другом крайнем положении поршня, которое соответствует моменту закрытия напорного клапана. Пусть V_0' - объем цилиндра в момент закрытия напорного клапана. Тогда уравнение неразрывности для замкнутого объема имеет вид:

$$-Fl\omega \sin \omega t = \left(\frac{V_0'}{B} + CF \right) \frac{\delta p}{\delta t}.$$

Его решением с начальными условиями $p(t) = p_{сл}$ при $\omega t = \pi$ является функция:

$$p(t) = p_{сл} + \frac{Fl}{\left(\frac{V_0'}{B} + CF \right)} \frac{(\pi - \omega t)^2}{2}.$$

Если t_0' - момент закрытия клапана, то $\omega t' = \varphi_0'$ и $p(t_0') = p_H$,

поэтому $p_H = p_{сл} + \frac{Fl}{\frac{V_0'}{B} + CF} \frac{(\pi - \varphi_0')^2}{2}$.

Отсюда находим выражение для угла сдвига фаз φ_0' :

$$\varphi_0' = \pi - \sqrt{2(p_H - p_{сл}) \frac{\left(\frac{V_0'}{B} + CF \right)}{Fl}}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.В. Ермаков. – М.: Машиностроение, 1969. – 628с.
2. Колпаков, В.Н. Выбор типа гидромотора для привода главного вращательного движения металлорежущих станков / В.Н. Колпаков // Вузовская наука региону: материалы десятой всероссийской научно-технической конференции: Т.1.- Вологда: ВоГТУ, 2012. – С. 23-25.
3. Дубровский, О.Н. Гидроэнергетические расчеты судовых гидравлических систем / О.Н. Дубровский. – Л.: Судостроение, 1974.- 317 с.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

С. В. Костромин

*Россия, Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева*

Лазерная резка листовых сталей находит всё более широкое применение в промышленности. Сфокусированное лазерное излучение, обеспечивая высокую концентрацию энергии, позволяет получать узкие разрезы с минимальной зоной термического влияния [1]. Это позволяет осуществлять лазерную резку с высокой степенью точности и возможностью разделения материалов по сложному криволинейному контуру. Указывается [2], что лазерная резка обеспечивает получение высококачественной кромки для последующей лазерной сварки.

В процессе лазерной резки листовой стали на кромке возникают бороздки определённой глубины, частоты и формы, что в совокупности определяет микрогеометрию зоны реза. Гладкая поверхность без явно выраженных борозд в нижней части кромки наблюдается при скоростях резки, превышающих некоторую величину. При малых скоростях обработки существует опасность создания режима самопроизвольной (автогенной) резки. Рез при этом получается значительной ширины, определяемой диаметром струи кислорода, а не диаметром сфокусированного лазерного луча.

Возможно также образование грата на нижней кромке заготовок в результате смачивания поверхности расплавом. Количество грата также зависит от скорости резки, а также от мощности излучения, толщины металла и давления кислорода.

Кроме того, качественная лазерная резка должна обеспечивать получение минимальной зоны термического влияния.

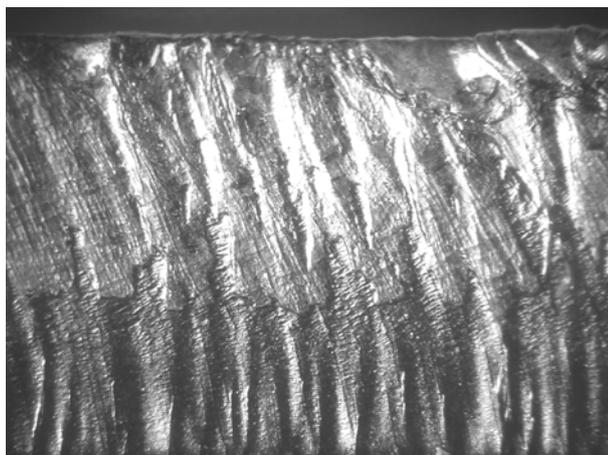
Целью исследования являлся подбор режимов газолазерной резки листовой стали СтЗсп толщиной 8 мм, обеспечивающий получение качественной поверхности реза. Лазерную резку с подачей кислорода осуществляли на установке Platino 1530 фирмы Prima Power, оснащённой CO₂-лазером. Резка производилась в импульсно-периодическом режиме, диаметр луча составлял 0,2 мм. Энергетические и временные режимы резки указаны в таблице 1.

Таблица 1

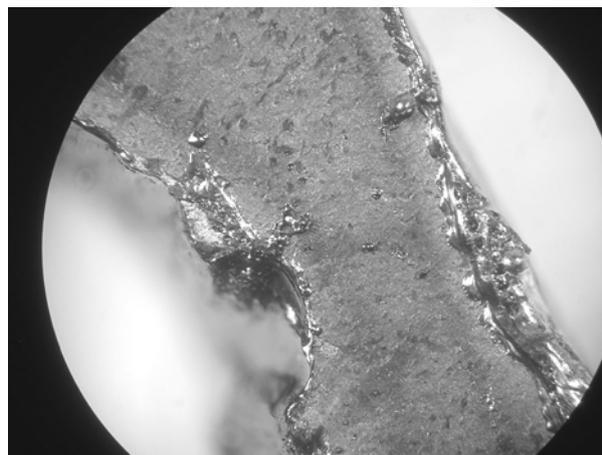
Режимы лазерной резки

Марка стали	Толщина листа, мм	Режим	Мощность излучения Р, Вт	Скорость резки V, м/мин
СтЗсп	8	1	1600	1,6
		2	3000	1,4

Анализ полученных результатов показывает, что при режиме 1 обнаруживается непараллельность борозд, грат, а также следы автогенного режима резки (рис. 1).



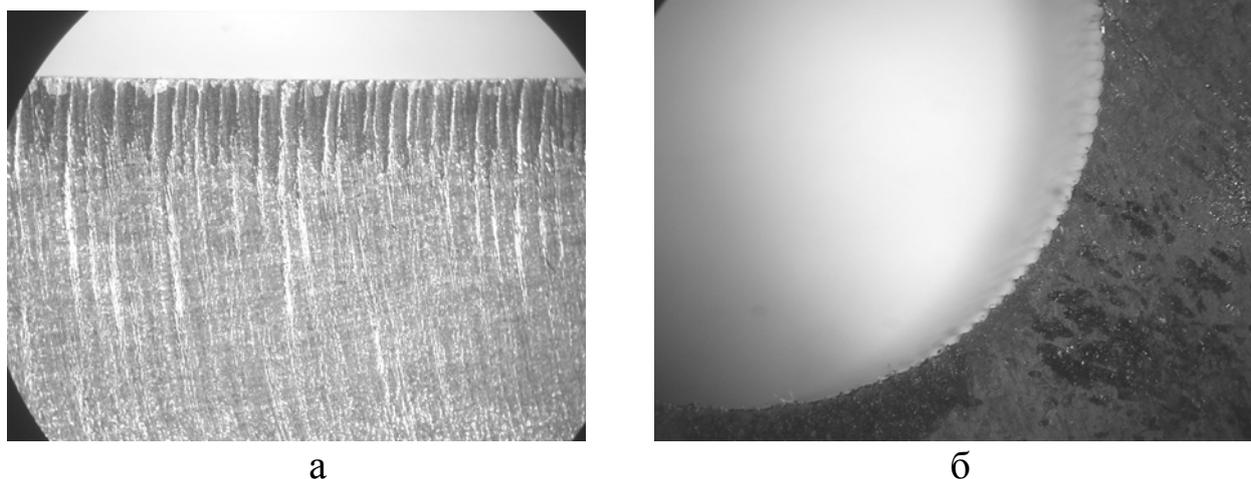
а



б

Рис. 1. Макроструктура поверхности реза стали СтЗсп по режиму 1: а) – боковая кромка (x7), б) – вид снизу (x5)

Режим 2 обеспечивает получение качественного реза с оптимальным расположением параллельных борозд в верхней части кромки реза и отсутствием грата (рис. 2).



*Рис. 2. Макроструктура поверхности реза стали Ст3сп по режиму 2:
а) – боковая кромка (x7), б) – вид снизу (x5)*

Также режим 2 обеспечивает получение минимальной зоны термического влияния на стали Ст3сп. Толщина белого слоя – 0,05 мм. Микроструктура зоны термического влияния представлена на рисунке 3.



*Рис. 3. Микроструктура зоны термического влияния
на лазерной кромке, x130*

Таким образом, в результате исследования установлены оптимальные режимы лазерного раскроя листовой стали Ст3сп толщиной 8 мм, обеспечивающие получение качественного реза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц, А.Г. Лазерная резка металлов / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов. – М.: Высшая школа, 1988. – 127 с.
2. Беляев, Е.С. Микроструктура лазерных сварных соединений из пористого проката / Е.С. Беляев, С.В. Костромин, Н.В. Макаров // Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – Т. 9. – № 4. – С. 37-41.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ОБЪЕМЕ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

**В.Ю. Куваев, М.Ю. Каряка,
В.И. Нежурин, А.В. Николенко, П.Н. Омельницкий**
Украина, Национальная металлургическая академия Украины

Опыт эксплуатации рудовосстановительных электропечей (РВП) показывает, что поддержание оптимального шихтового, электродного и электрического режимов конкретного технологического процесса является основой достижения максимальной технико-экономической эффективности выплавки сплава.

Решение этой задачи обеспечивается выбором оптимальных геометрических параметров ванны печи; печного контура и поддержанием рационального электрического режима плавки, что создает требуемое с точки зрения термодинамики распределение вводимой энергии в рабочем пространстве ванны печи.

Данные о распределении активной мощности, плотности тока, потенциалов и температур в объеме рабочего пространства ванны получены в результате инструментальных исследований действующих РВП [1, 2], что дало возможность сформировать картину строения рабочего пространства ванны печи при выплавке разных сплавов и решить ряд задач по оптимизации их выплавки. Результаты исследований позволили разработать обобщенную схему замещения электрической цепи РВП, что обеспечило возможность эффективного управления электрическим и технологическим режимами работы печи с использованием АСУ ТП [2].

Известен также ряд математических моделей распределения энергии в объеме ванны, позволяющих прогнозировать его для осваиваемых и проектируемых электропечей.

Авторами решалась задача разработки математической модели распределения плотности тока в сечении самообжигающегося электрода и удельной активной мощности в объеме рабочего пространства ванны

РВП по методу вторичных источников в форме интегральных уравнений Фредгольма II рода с привлечением экспериментальных данных действующих печей [3]. Решающее преимущество метода вторичных источников состоит в возможности построения эффективных численных алгоритмов расчета полей, ориентированных на применение вычислительной техники и пригодных для неоднородных сред и сложных форм границ раздела сред.

Поскольку структура реакционной зоны рабочего пространства круглой трехэлектродной РВП симметрична оси каждого электрода, исходя из условий осевой симметрии рассматривалось меридиальное сечение электрода и реакционной зоны с подводом тока через сверхпроводящий контакт электрода, находящегося в неоднородной среде, и отводом через сверхпроводящую ванну сплава.

Для построения модели принимаем следующие допущения:

1. Ванна круглая с тремя круглыми симметрично расположенными электродами.

2. Объем шихтовых материалов состоит из реакционной зоны с проводимостями γ_5 и γ_6 , и объема ванны с проводимостями γ_3 и γ_4 .

3. Жидкий расплав (поверхность S_5) и поверхности S_1, S_2, S_3, S_4 сверхпроводящие ($\gamma = \infty$).

4. Электроды состоят из двух зон с проводимостями γ_1 и γ_2 .

5. Дуговой разряд не учитывается, поскольку технологический процесс выплавки силикомарганца является шлаковым; жидкий токопроводящий шлак существенно шунтирует дуговой промежуток, вследствие чего на долю дугового разряда приходится не более 15 % энергии, выделяемой в ванне печи.

6. Правая цилиндрическая система координат имеет начало в центре ванны на уровне шихты.

7. Ввиду незначительного влияния поверхностного эффекта магнитное поле не учитывается.

С учетом принятых допущений и условий расчета модель представлена на рис. 1а.

Алгоритм расчета поля плотности тока и удельной активной мощности следующий:

1. Рассчитывается распределение вторичных источников на поверхности раздела сред с разной проводимостью $\gamma_1 - \gamma_6$.

2. По распределению вторичных источников рассчитывается напряженность поля в выбранных точках сечения электрода и рабочего пространства печи.

3. Рассчитывается плотность тока (j_i) и удельная активная мощ-

ность в выбранных точках рабочего пространства ванны печи $j = \gamma_i E_i$ и $p_i = \gamma_i E_i^2$.

Например, на рисунке 1б представлены результаты математического моделирования распределения энергии в рабочем пространстве ванны силикомарганцевой печи типа РКГ-75 со следующими данными:

- активная составляющая тока электрода $I_{a3} = 100$ кА;
- диаметр ванны печи $D_B = 12600$ мм;
- высота шихтовых материалов $H_B = 3500$ мм;
- диаметр распада электродов $D_p = 5600$ мм;
- диаметр электрода $D_3 = 2000$ мм.

Модель разработана для полусферической формы торца электрода и глубины его погружения в ванну печи 1 м. На рисунке представлены эпюры распределения плотности тока в сечении электрода и линии, равной удельной активной мощности в рабочем пространстве в предположении, что мощность сосредоточена в центре выбранных элементарных площадок сечения ванны.

Результаты моделирования проверены на адекватность на электролитической ванне печи РКГ-75, где выполняется соотношение проводимостей зон неоднородности. Потенциалы точек объема ванны измерялись методом двойного зонда, рассчитывалась активная мощность в каждом элементарном объеме ванны.

Анализ показывает, что значения удельных активных мощностей в выделенных точках, полученные расчетным и экспериментальным путем и представленные в относительных единицах, совпадают с инженерной точностью.

Практическое использование предлагаемой модели при расчете параметров проектируемой рудовосстановительной печи может выглядеть следующим образом:

1. Определение основных электрических и геометрических параметров печи с помощью известных инженерных методов расчета.
2. Расчет математической модели проектируемой печи для выявления влияния геометрии ванны на распределение мощности в объеме ванны печи и нахождение оптимального значения диаметра распада электрода и глубины ванны.
3. Уточнение предварительно рассчитанных геометрических параметров рудовосстановительной печи.

Для действующих РВП на базе предлагаемой модели может быть реализована или усовершенствована система управления технологическим процессом выплавки ферросплавов.

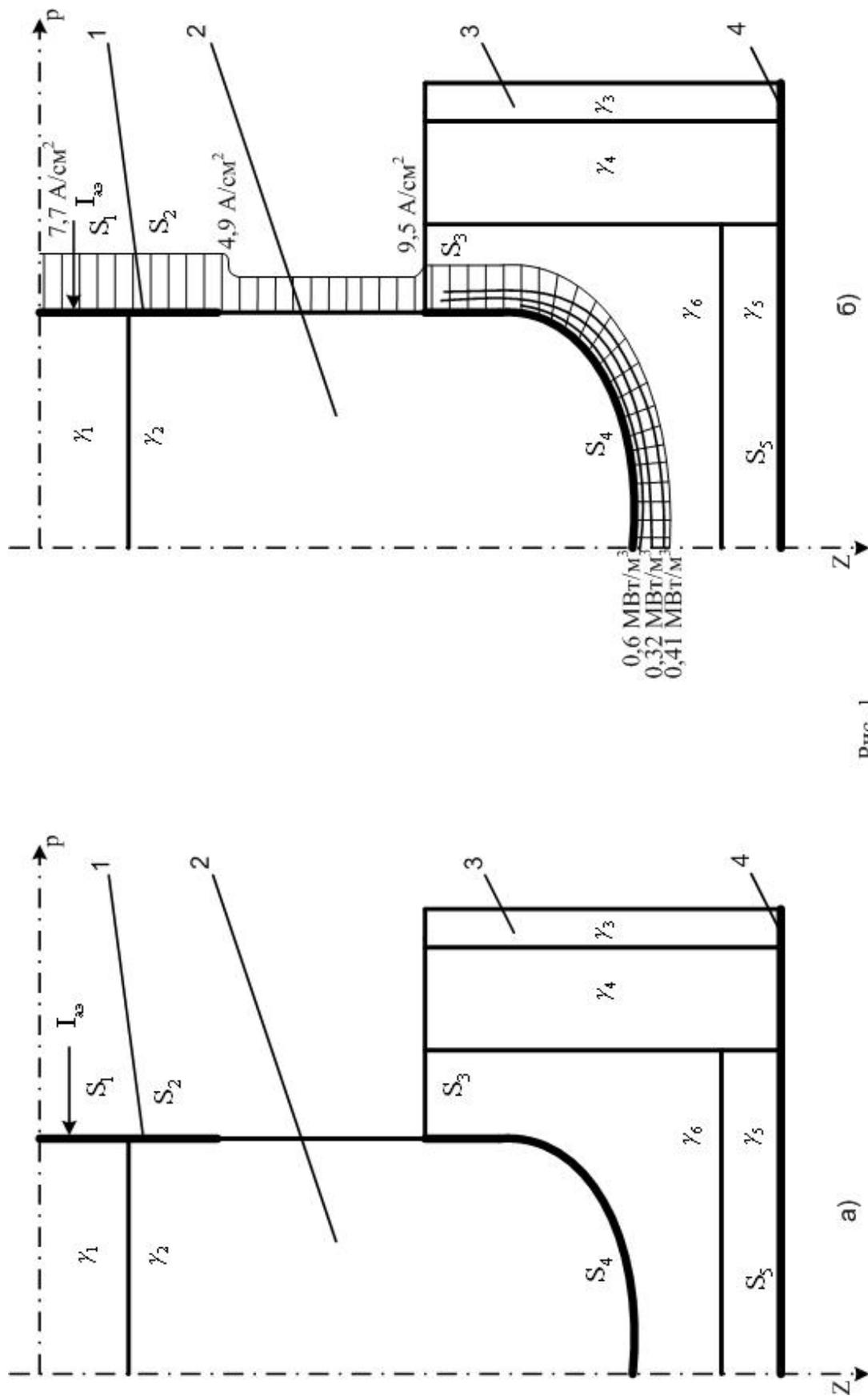


Рис. 1

а - расчетная математическая модель распределения мощности в ванне РВП

б - математическая модель распределения энергии в ванне печи РКГ-75

(1 - кольцо электродержателя, 2 - самобжигающийся электрод, 3- рабочее пространство печи с зонами неоднородности, 4 – сплав (силикомарганец)

Таким образом, предложенная методика расчета позволяет полнее решать задачи проектирования, реконструкции и рациональной эксплуатации шлаковых рудовосстановительных электропечей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карманов, Э.С. Исследование скорости и характера схода шихтовых материалов при выплавке марганцевых сплавов в закрытых руднотермических электропечах [Текст] / Э.С. Карманов, В.И. Нежурин // Сталь. – 1991. – № 7. – С. 37-40.
2. Кузьменко, С.Н. Определение параметров и характеристик элементов схем замещения ванн рудовосстановительных электропечей [Текст] / С.Н. Кузьменко, А.В. Николенко // Сталь. – 2005. – № 12 – С. 35-38.
3. Ольдзиевский, С.А. Математическое моделирование электрических полей печей рудной электротермии [Текст] / С.А.Ольдзиевский, В.А.Кравченко, В.И.Нежурин, И.А.Борисенко. – М.: Металлургия, 1990. – 112 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГРЕВА НЕПРОДУВАЕМОГО ПЛОТНОГО СЛОЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

А.К. Кудрявцева, Н.Н. Сеницын
Россия, Череповецкий государственный университет

Угольный шлак образуется в процессе производства кокса для металлургической промышленности. Для использования коксового шлама в качестве энергетического топлива необходимо изучить процесс прогрева угольного шлама с учетом выхода влаги. Угольный шлак, находящийся в шламонакопителях, содержит повышенное количество влаги и глины, что затрудняет подачу этого материала в системы пылеприготовления. В связи с этим разработка технологии высокоэффективного использования отходов производства в качестве топлива является актуальной задачей для промышленных и энергетических объектов.

Одним из способов повышения эффективности сжигания угольного шлама является его предварительная сушка перед сжиганием. При сушке происходит сначала испарение влаги на поверхности материала, затем возникает фронт, отделяющий сухой и влажный слои материала. Фронт сушки перемещается от поверхности внутрь материала. Целью моделирования является определение координаты фронта и поля температуры в сухой и влажной частях слоя угольного шлама. Рассмотрим

процесс сушки на примере формы слоя угольного шлама в виде бесконечной пластины. Для примера приведем математическую модель одномерного симметричного процесса сушки пластины из угольного шлама, которая включает в себя сквозное уравнение теплопроводности, общее для сухой и влажной зон пластины [1, 2, 3]:

$$c_{эф}(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right], \quad (1)$$

интегрируемое в области: $0 \leq x \leq S$, $0 \leq \tau \leq \tau_k$

Начальное условие:

$$T \Big|_{\tau=0} = T^0; \quad (2)$$

Граничное условие:

$$\text{при } x=0 \quad -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{cp} - T); \quad (3)$$

$$\text{при } x=S \quad -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где $\rho(T)$ - плотность материала; α - коэффициент теплоотдачи; S - половина толщины пластины; T_{cp} - температура среды; T^0 - начальная температура материала; $\lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности; T и τ - текущие температура и время.

При этом выделение теплоты фазового перехода в уравнении (1) учитывают с помощью эффективной теплоемкости $c_{эф}(T)$, задаваемой выражением:

$$c_{эф}(T) = \begin{cases} c_1(T), & T > T_n; \\ c(T_c) \cdot \psi + c(T_n) \cdot (1 - \psi) + \frac{g \cdot L}{\Delta T}, & T_c \leq T \leq T_n; \\ c_2(T), & T < T_c, \end{cases}$$

Коэффициент теплопроводности и плотности определяется по формулам:

$$\lambda(T) = \begin{cases} \lambda_1(T), & T > T_n; \\ \lambda_1 \cdot \psi + \lambda_2 (1 - \psi), & T_c \leq T \leq T_n; \\ \lambda_2(T), & T < T_c, \end{cases}$$

$$\rho(T) = \begin{cases} \rho_1(T), & T > T_n; \\ \rho_1(T) \cdot \psi + \rho_2 (1 - \psi), & T_c \leq T \leq T_n; \\ \rho_2(T), & T < T_c, \end{cases}$$

где $T_n = T_\phi + \Delta T / 2$, $T_c = T_\phi - \Delta T / 2$ - фиктивные температуры начала и окончания фазового перехода воды; $c(T)$ - теплоемкость материала; c_1 и c_2 -

теплоемкости сухого и влажного слоев материала; ρ_1 и ρ_2 - плотности сухого и влажного слоев материала; λ_1 и λ_2 - коэффициенты теплопроводности сухого и влажного слоев материала; g - доля влаги в элементарном объеме материала; L - удельная теплота фазового перехода влаги; ψ - доля влажного материала.

Величина ψ определяется по формуле:

$$\psi = \begin{cases} 1, & T < T_c; \\ \frac{T_l - T}{T_l - T_c}, & T_c \leq T \leq T_l; \\ 0, & T > T_l. \end{cases}$$

На рисунке 1 показана схема расчетной области.

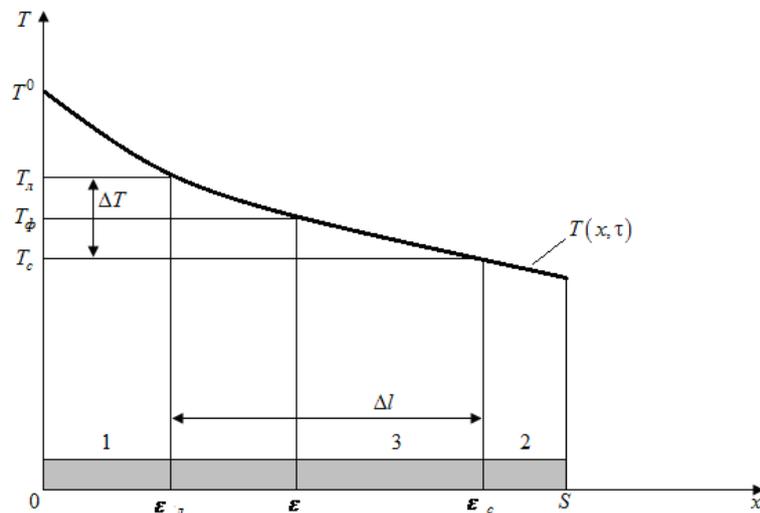


Рис. 1. Схема расчетной области

Расчетная область: 1- сухая зона; 2 – влажная зона; 3 – двухфазная зона; Δl - ширина двухфазной зоны; ϵ_l , ϵ , ϵ_c - координаты границ начала двухфазной зоны, фазового перехода и окончания двухфазной зоны, соответствующие температурам T_l , T_ϕ , T_c .

Система уравнений (1)-(4) в общем случае может быть решена только численным методом. При использовании метода конечных разностей (явная схема) значения температур определяют в узлах расчетной области, координаты которых находят по формуле: $x_i = (i - 0,5)\Delta x$, для дискретных моментов времени $\tau^n = \Delta\tau \cdot n$, где $i = \overline{0, N+1}$, N – количество узлов внутри расчетной области, 0 и $N+1$ - номера фиктивных узлов, находящихся за пределами области на расстоянии $\Delta x/2$; $\Delta x = S/N$ - расстояние между узлами; $n = \overline{0, [\tau_k / \Delta\tau]}$ - моменты времени ($n=0$ - начальный момент времени); $\Delta\tau$ - расчетный шаг по времени.

Температуру в фиктивных узлах: $i=0$ и $N+1$ в момент времени $n+1$ определяют по формулам:

$$T_0 = \frac{(1-\chi) \cdot T_1 + 2 \cdot \chi \cdot T_{\text{н\ddot{o}}}}{1+\chi}, \chi = \frac{\alpha \cdot \Delta x}{2 \cdot \lambda}$$

$$T_{N+2} = T_{N+1}$$

Расположение границы перехода воды в пар определяют в поле температуры по температуре фазового перехода влаги в цикле по $i = \overline{2 \dots N}$ из условия:

если $T_{i-1} \geq T \geq T_i$,

$$\text{то } \varepsilon = \Delta x \left(i - \frac{3}{2} \right) + \Delta x \frac{T_{i-1} - T_{\phi}}{T_{i-1} - T_i}.$$

Численное решение при явной схеме аппроксимации является условно устойчивым. В этом случае расчетный шаг определяем по формуле:

$$\Delta \tau = \frac{\Delta x^2}{k_y \cdot a}, \text{ где } k_y \geq 2.$$

Погрешность численного решения в данном случае будет зависеть от настроенных параметров алгоритма N , k_y и ΔT . Необходимо эти параметры выбрать таким образом, чтобы погрешность результатов моделирования не превосходила заданную.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сеницын, Н.Н. Математическое моделирование прогрева высоко-влажной коры / Н.Н. Сеницын, Ю.А. Калягин, В.А. Кушков и др. // Вестник ЧГУ. – Т.2. – 2011, №4 (34) – С.22-25.
2. Сеницын, Н.Н. Экспериментальное исследование прогрева высоко-влажной коры ели / Н.Н. Сеницын, В.А. Кушков, А.К. Кудрявцева и др. // Вестник ЧГУ. Т.1. – 2011, №2 (29). – С.26-28.
3. Сеницын, Н.Н. Экспериментальное исследование прогрева угольного шлака. Н.Н. Сеницын, А.К. Кудрявцева, В.А. Кушков и др. // Вестник ЧГУ. №2 (25). 2010. – С.82-85.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Н.В. Куликова, А.А. Редько

*Украина, Харьковский национальный университет
строительства и архитектуры*

Введение. Создание методов моделирования теплообменников, оценки их эффективности является актуальной проблемой. В теплообменниках определяющими являются термодинамические процессы. Построение математических моделей данных процессов и экспериментальное исследование температурных полей и полей скорости движения теплоносителей является сложной задачей.

Постановка проблемы. В теплообменниках потоки теплоносителей являются открытыми термодинамическими системами, в которых происходят неравновесные процессы, вызывающие изменение (воспроизводство) энтропии. Использование методов неравновесной термодинамики для определения изменения энтропии системы позволяет разработать более совершенную термодинамическую модель теплообменного аппарата.

В работах [1-3] показано, что в открытых системах энтропия уменьшается при поступлении энергии от внешних источников, а скорость изменения энтропии определяется ее степенью неравновесности. И. Пригожиным. [3] была сформулирована задача оптимизации открытой теплогидравлической системы переноса теплоты и массы в виде поиска минимума степени неравновесности:

$$\frac{\Delta S}{\tau} = \min\left(\frac{\Delta S}{\tau}\right). \quad (1)$$

Однако термодинамические модели теплообменников разработаны еще недостаточно. Сложность данного метода определяется сложностью определения интенсивности изменения энтропии системы, т.к. производство энтропии является одним из критериев, определяющих неравновесное состояние системы и позволяющих определить ее оптимальные параметры.

Производство энтропии σ , определяется составляющими: теплопроводностью, диффузией, градиентом в поле скоростей и химическими реакциями. Изменение энтропии представляет собой сумму двух слагаемых: приращения энтропии за счет притока энтропии извне за счет теплообмена и изменения энтропии, протекающей в самой системе.

Плотность энтропии определяется распределением теплового потока в исследуемом пространстве .

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{d_e S}{d\tau} + \frac{d_i S}{d\tau}, \quad (2)$$

$$d_e S = -\frac{1}{\rho} \operatorname{div} \frac{q}{T} d\tau, \quad (3)$$

$$d_i S = -\frac{q \cdot \operatorname{grad} T}{\rho \cdot T^2} d\tau, \quad (4)$$

Решение задачи аналитическими методами довольно сложно.

В [4] показана методика, основанная на использовании опытных данных, обобщенных методами теории подобия, а также на основе первого и второго начала термодинамики. Опытные данные по теплоотдаче при движении теплоносителей в теплообменнике предлагается обобщать, используя зависимость вида:

$$\varphi = f\left(\frac{F}{f}; S\right), \quad (5)$$

где F/f - отношение площади поверхности к площади поперечного сечения потоков движения теплоносителя (критерий геометрического подобия параметрического типа); $S = \frac{\Delta S}{\Delta S_{\max}}$ - отношение изменения энтропии в действительном процессе к изменению энтропии в максимально возможном процессе (критерий термодинамического подобия);

$\varphi = \frac{\alpha}{c_p \cdot \rho \cdot w}$ - критерий конвективного переноса теплоты.

Энтропийная модель процессов теплопереноса в теплообменниках рассматривалась в работе [2].

В работе [1] разрабатываются вопросы применения методов неравновесной термодинамики к задачам оптимизации теплоэнергетических систем.

В результате моделирования и оптимизации конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора на тепловых трубах (термосифонах) определены: тепловая мощность – 468 кВт; длина термосифона – 1500 мм; длина зоны испарения – 1000 мм; диаметр термосифона – 57x3,5 мм; количество термосифонов – 272; межтрубные шаги шахматного пучка – $s_1=0,13$; $s_2=0,13$; площадь узкого сечения газового канала – 0,58 м²; площадь узкого сечения канала для движения воды – 0,01 м²; скорость газов – 6,7 м/с; скорость воды – 0,72 м/с; коэффициент теплоотдачи при движении газов – 58 Вт/м²К; коэффициент теплоотдачи при движении воды – 2200 Вт/м²К; температура газов на входе – 134 °С; температура газов на выходе – 77,2 °С; температура воды на входе – 9 °С; температура воды на выходе – 24,5 °С; площадь теплообменной поверхности – 72,5 м².

В первой ступени теплоутилизатора (по ходу газов) установлены термосифоны, заполненные водой, во второй ступени – термосифоны, заполненные смесью (аммиак+вода, 60/40). Во второй ступени происходит конденсация водяного пара из продуктов сгорания.

Если известно распределение температур теплоносителей и стенки теплообменника, то можно определить изменение энтропии в движущихся теплоносителях.

Для охлаждаемого теплоносителя (уходящие газы) изменение энтропии:

$$\Delta S' = \ln \frac{T'_z}{T''_z} = \ln \frac{134 + 273,15}{77 + 273,15} = 0,15, \quad (6)$$

$$\Delta S'_{\max} = \ln \frac{T'_z}{T'_{cm}} = \ln \frac{134 + 273,15}{27,5 + 273,15} = 0,30 \quad (7)$$

Критерий термодинамического подобия:

$$\frac{\Delta S'}{\Delta S'_{\max}} = 0,50,$$

Для нагреваемого теплоносителя (вода) изменение энтропии:

$$\Delta S'' = \ln \frac{T'_{\text{жс}}}{T''_{\text{жс}}} = \ln \frac{24,2 + 273,15}{9 + 273,15} = 0,05 \quad (8)$$

$$\Delta S''_{\max} = \ln \frac{T'_{cm}}{T'_{\text{жс}}} = \ln \frac{27,5 + 273,15}{282,15} = 0,06 \quad (9)$$

Критерий термодинамического подобия:

$$\frac{\Delta S''}{\Delta S''_{\max}} = 0,83.$$

В уравнениях (6-9) T' – начальная температура теплоносителя, К; T'' – конечная температура теплоносителя, К; T'_{cm} – температура стенки теплообменника, К.

Используя критериальное соотношение (10), определяем критерий геометрического подобия (F/f):

$$\varphi = 0,8 \cdot \frac{S^{1,25}}{\left(\frac{F}{f}\right)^{0,9}}, \quad (10)$$

Для нагреваемого теплоносителя (воды):

$\frac{F}{f_1} = 2375,60$ площадь поверхности теплообмена в зоне конденсации термосифонов $F=23,76 \text{ м}^2$.

Для охлаждаемого теплоносителя (продуктов сгорания):

$\frac{F}{f_2} = 84,97$ площадь поверхности теплообмена в зоне испарения термосифонов $F=49,2 \text{ м}^2$.

Суммарная площадь теплообмена утилизатора $F=72,96 \text{ м}^2$.

Выводы. Методика теплового расчета теплообменника с применением критерия термодинамического подобия позволяет более обосновано определять эффективные конструктивные параметры аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игонин, В.И. Теоретические основы моделирования нестационарных процессов переноса теплоты и массы в промышленных теплоэнергетических системах: дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Игонин – Вологда, 2000. – 250 с.
2. Шехтер, Р.С. Вариационный метод в инженерных расчетах: пер. с. англ. / Р.С. Шехтер. – М.: Мир, 1971. – 289 с.
3. Пригожин, И. Введение в термодинамику обратимых процессов / И. Пригожин. – М.: ил., 1960. – 150 с.
4. Аснин, Я.И. Тепловое подобие, конвективный теплообмен и энтропия / Я.И. Аснин. – ХГУ, 1962. – 112 с.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОЕКТА «ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ ПРАВИТЕЛЬСТВА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ» НА CMS «1С-БИТРИКС» ФИРМОЙ ЦИТ «ТРОЯ»

В.А. Ларин, А.В. Ларин

Россия, Вологодский государственный университет

Наряду с ранее созданными и успешно работающими в настоящий момент интернет-порталами, такими как <http://www.vologdazso.ru/>, <http://www.socium35.ru/>, <http://www.duma-vologda.ru/>, <http://prokvologda.ru/>, осенью 2013 года нами сдан крупный проект — «Официальный портал Правительства Вологодской области» (<http://vologda-oblast.ru/>), работа над которым осуществлялась командой ЦИТ «Троя» более года.

Данный проект выполнен в соответствии с ТЗ на проектирование и полностью соответствует федеральному закону от 9 февраля 2009 г. N 8-ФЗ "Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления".

Процесс освоения функционала портала сотрудниками интернет-отдела Вологодского областного информационного центра Правительства Вологодской области, обслуживающими портал, проходил поначалу с некоторыми трудностями, однако нами было проведено успешное обучение команды в составе 4-х человек, которые в данный момент занимаются поддержкой и информационным наполнением портала.

Для обучения использовалась собственная методика, отработанная нами на ранее спроектированных и внедренных порталах. Данная методика обучения предполагает сочетание изучения теоретических основ

функционирования сайтов, построенных на CMS 1С-Битрикс с использованием справочных гипертекстовых материалов и обучающих видеороликов, размещённых на сайте фирмы <http://www.1c-bitrix.ru/support/>, с активной самостоятельной практической реализацией контента и администрированием разделов портала на его функционирующей копии.

Было проведено 12 двухчасовых занятий, из них две трети составили самостоятельные практические занятия. Ниже перечислены основные темы:

- установка демо-сайта и вэб-окружения на локальный ПК каждого пользователя с сайта 1С-Битрикс. Интерфейс Эрмитаж. Сайт в понятии Bitrix Framework;

- инфоблоки: понятие, создание и настройка;

- комплексные компоненты: понятие, размещение на странице сайта и работа с ними;

- лекционно-практическое с мультимедиа: Создание элемента информации «новость» в разделе «Новости» в публичной и административной части сайта <http://site.vologda-oblast.ru>;

- лекционно-практическое с мультимедиа: работа с информацией в разделе сайта «О Регионе» в публичной и административной части сайта <http://site.vologda-oblast.ru>. Медиабiblioteca;

- лекционно-практическое с мультимедиа: работа с информацией в разделе сайта «Власть» в публичной и административной части сайта <http://site.vologda-oblast.ru>;

- лекционно-практическое с мультимедиа: работа с информацией в разделе сайта «Власть», «Губернатор» в публичной и административной части сайта <http://site.vologda-oblast.ru>;

- лекционно-практическое с мультимедиа: работа с информацией в разделе сайта «Обращение граждан», «Гражданам» в публичной и административной части сайта <http://site.vologda-oblast.ru>.

В настоящий момент «Официальный портал Правительства Вологодской области» активно функционирует, заполнены все созданные разработчиками разделы портала, информация постоянно обновляется.

Таким образом, результатом разработки и внедрения сайта «Официальный портал Правительства Вологодской области» является получение Заказчиком функционирующего проекта и обученной команды, квалифицированно осуществляющей поддержку портала.

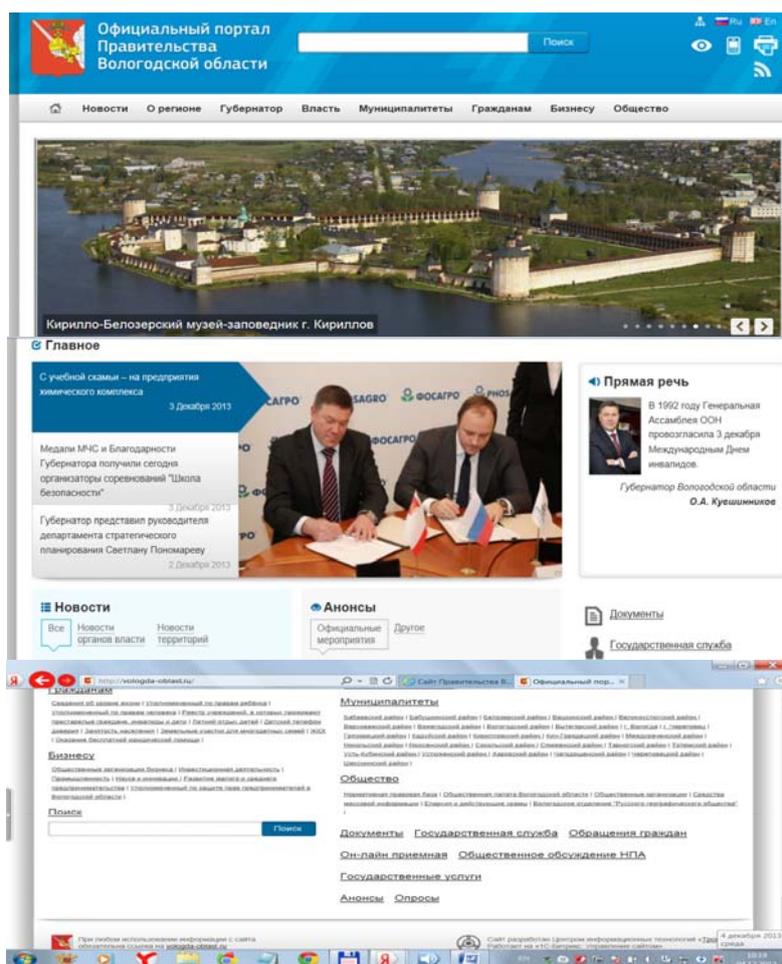


Рис. 1. Фотография страницы сайта правительства Вологодской области

В заключение необходимо отметить, что для организаций, имеющих и широко использующих свой информационный портал в Интернете, на наш взгляд представляет практический интерес создание **единой информационно-коммуникационной среды организации средствами корпоративного портала**.

Для создания такой среды мы рекомендуем использовать «1С-Битрикс: Корпоративный портал» как систему управления внутренними информационными ресурсами организации для коллективной работы над задачами, проектами и документами и для эффективных внутренних коммуникаций сотрудников.

«1С-Битрикс: Корпоративный портал» http://www.1c-bitrix.ru/products/intranet/#tab-new12_5-link обеспечивает:

- Быстрый поиск контактов сотрудников;
- Управление документами;
- Управление задачами и проектами;
- Таймменеджмент 2.0;
- CRM (управление партнёрами и контактами);

- Интеграция с 1С, Microsoft, Google, Apple;
- Автоматизация бизнес-процессов организации, предприятия;
- Производительность и безопасность;
- Мобильные веб-приложения и др.

Такая среда позволит ускорить все основные информационно-коммуникационные процессы организации, а именно: более эффективная работа членов рабочих групп (отделов), более быстрый доступ сотрудников к информационным ресурсам организации, принятие более взвешенных решений, что в конечном итоге приведёт к повышению производительности труда сотрудников организации, к минимизации ошибок в контенте и структуре портала, повышению качества предоставляемых населению информационных услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем.

2. РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.

3. Программное обеспечение компании «1С-БИТРИКС» // [Электронный ресурс] «1С-БИТРИКС». – Режим доступа: <http://www.1c-bitrix.ru>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ВЛАЖНОГО МАТЕРИАЛА В КАМЕРНОЙ СУШИЛКЕ ПРОТОЧНОГО ТИПА

О.С. Натареев, Э.В. Новацкий, С.В. Натареев

*Россия, Ивановский государственный
химико-технологический университет*

Для проведения термической сушки влажных материалов требуются обычно значительные затраты тепловой энергии, поэтому является актуальным дальнейшее совершенствование технологии сушки и сушильного оборудования, направленное на снижение удельных затрат тепловой энергии и времени проведения процесса при сохранении требуемого качества высушенного материала. В основе такого подхода должно лежать все более глубокое понимание теоретических основ процесса сушки, что подразумевает качественный и количественный анализ явлений массо- и теплопереноса в системе «влажный материал-

сушильный агент», установление связей между параметрами, характеризующими процесс сушки, а также разработку методики его расчета.

В работе рассмотрено решение задачи об удалении влаги из частиц влажного материала в камерной сушилке проточного типа (рис. 1). Принимаем, что равновесие между сушильным агентом и влажным материалом описывается линейным уравнением изотермы Генри. Периоды прогрева материала и сушилки являются пренебрежимо малыми по сравнению с общей продолжительностью сушки, которая характеризуется периодом постоянной скорости сушки (I период) и периодом падающей скорости сушки (II период). Скорость процесса сушки лимитируется как внешней, так и внутренней диффузией. Частицы влажного материала имеют сферическую форму.

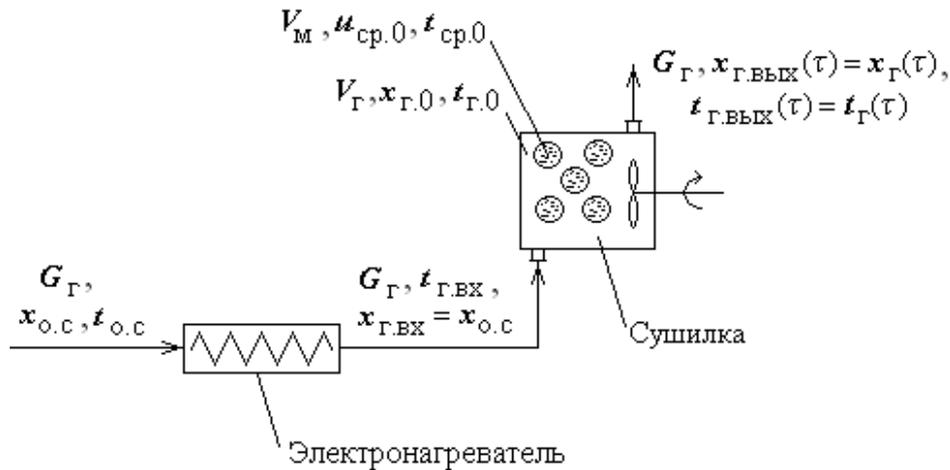


Рис. 1. Схема камерной сушилки проточного типа

Математическое описание процесса сушки частицы для I периода имеет следующий вид:

$$\frac{\partial u(r, \tau)}{\partial \tau} = k \left[\frac{\partial^2 u(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad (1)$$

$$u(r, 0) = u_{ср}(0) = u_{ср,0}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u(0, \tau)}{\partial \tau} = 0; \quad (3)$$

$$\beta[x_{п.нас} - x_{Г}(\tau)] = -k \frac{\partial u(r_0, \tau)}{\partial r}; \quad (4)$$

$$u = E x_{Г}; \quad (5)$$

$$\rho_{Г} V_{Г} \frac{dx_{Г}(\tau)}{d\tau} + \rho_{М} V_{М} \frac{du_{ср}(\tau)}{d\tau} = G_{Г} [x_{Г,ВХ} - x_{Г}(\tau)]; \quad (6)$$

$$x_{Г}(0) = x_{Г,0}; \quad (7)$$

$$V_M \frac{\partial u_{cp}(\tau)}{\partial \tau} = nSk \frac{\partial u(r_0, \tau)}{\partial r}; \quad (8)$$

$$u_{cp}(\tau) = \frac{3}{r_0^3} \int_0^1 \xi^2 u(r, \tau) dr, \quad (9)$$

где E – константа Генри; m ; G – массовый расход, кг/с; k – коэффициент влагопроводности, m^2/c ; n – количество частиц материала; r – радиальная координата внутри частицы, м; r_0 – радиус частицы, м; S – площадь поверхности частицы, m^2 ; V – объем, m^3 ; u – влагосодержание материала, кг/кг; x_r – влагосодержание воздуха, кг/кг; ρ – плотность, kg/m^3 ; β – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, m^2/c ; ϕ – время, с; индексы: vx – входящий; $г$ – газ; $м$ – материал; $м.т.$ – мокрый термометр; $нас$ – насыщенный; $п$ – поверхность; $ср$ – средний; 0 – начальный.

Математическая постановка задачи о переносе влаги для второго периода сушки описывает процесс сушки в интервале от первой критической влажности до равновесной влажности материала. Для упрощения расчета второго периода примем начальное распределение влагосодержания по радиусу тела равномерным, т.е.

$$u(r, 0) = u_{ср.кр}(0) = u_{ср.кр}, \quad (10)$$

где $u_{ср.кр}$ – критическое влагосодержание материала.

Вместо граничного условия третьего рода (4) используем следующее условие:

$$\beta[x_{п}(\tau) - x_r(\tau)] = -k \frac{\partial u(r_0, \tau)}{\partial r}. \quad (11)$$

Для решения указанных задач был использован метод интегральных преобразований Лапласа [1]. Приведем найденные решения задач для I периода сушки:

$$u(r, \tau) = u_p \left\{ \frac{u_{ср.0}}{u_p} + \frac{3Bi_m}{\chi + \sigma Bi_m} \left[\frac{x_{г.0} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} - \frac{x_{г.нас} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \left(1 + \chi \frac{k\tau}{r_0^2} + \frac{\chi}{6} \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 - \frac{\chi}{\chi + \sigma Bi_m} \left(1 + \frac{\chi + \sigma Bi_m}{10} \right) \right) \right] \right\} + A \sin \left(\sqrt{\chi + \sigma Bi_m} \frac{r}{r_0} \right) \frac{r_0}{r} \exp \left[-(\chi + \sigma Bi_m) \frac{k\tau}{r_0^2} \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2B_n r_0}{r} \sin \left(\mu_n \frac{r}{r_0} \right) \exp \left[-\mu_n^2 \frac{k\tau}{r_0^2} \right], \quad (12)$$

$$\text{где } \chi = \frac{G_r r_0^2}{\rho_r V_r k}, \quad \sigma = \frac{3\rho_m V_m E}{\rho_r V_r}, \quad A = \frac{Bi_m \left[(\chi + \sigma Bi_m) \left(\frac{x_{г.0} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \right) - \sigma Bi_m \left(\frac{x_{г.нас} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \right) \right]}{(\chi + \sigma Bi_m) \left(\sqrt{\chi + \sigma Bi_m} \cos \sqrt{\chi + \sigma Bi_m} - \sin \sqrt{\chi + \sigma Bi_m} \right)},$$

$$B_i m = \frac{B_i m \left[\mu_n^2 \left(\frac{x_{г.0} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \right) + (\chi - \mu_n^2) \left(\frac{x_{г.нас} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \right) \right]}{\mu_n^2 (\chi - \mu_n^2 + \sigma B_i m) \sin \mu_n}, \quad B_i m = \frac{\beta r_0}{kE} - \text{число Био; } u_p - \text{равновесное}$$

влажностное содержание материала; m_n – корни характеристического уравнения:

$$\operatorname{tg} \mu = \mu; \quad (13)$$

для II периода сушки:

$$u(r, \tau) = u_p \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M_n r_0 \sin \left(\mu_n \frac{r}{r_0} \right) \exp \left(-\mu_n^2 \frac{k\tau}{r_0^2} \right)}{\mu_n^2 r} \right], \quad (14)$$

$$\text{где } M_n = \frac{B_i m \left[\mu_n^2 \left(\frac{x_{г.0} - x_{г.вх}}{x_{г.вх}} \right) + (\chi - \mu_n^2) \left(\frac{u_{ср.кр} - u_p}{u_p} \right) \right]}{\left[\frac{1}{2} (\chi - \mu_n^2 + \sigma B_i m) - 1 + B_i m \right] \sin \mu_n + \left[\mu_n - \frac{B_i m (\chi - \mu_n^2)}{2\mu_n} \right] \cos \mu_n}, \quad M_n - \text{корни урав-$$

нения:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\mu (\chi - \mu^2 + \sigma B_i m)}{\sigma B_i m + (\chi - \mu^2) (1 - B_i m)}. \quad (15)$$

Нетрудно получить уравнение для определения среднего влагосодержания сферической частицы путем подстановки найденных решений (12) и (14) в уравнение (9) и последующего интегрирования.

Для анализа процесса сушки следует также знать зависимость изменения температуры материала от времени процесса. Для первого периода сушки температура поверхности и всего объема влажного тела одинакова и равна температуре мокрого термометра воздуха. Для описания кинетики нагрева капиллярно-пористых материалов во втором периоде сушки может быть использовано уравнение нестационарной теплопроводности с эффективным коэффициентом температуропроводности. В этом случае получают уравнения, аналогичные уравнениям (12) и (14). Найденные в результате расчета поля влагосодержания пересчитываются в нестационарные поля температур на основании линейной связи между влагосодержанием и температурой материала, например через число Ребиндера [2].

Для проверки адекватности разработанной математической модели реальному процессу удаления влаги из материала были проведены экспериментальные исследования сушки частиц глины диаметром 20

мм в лабораторной камерной сушилке проточного типа. Результаты расчета и эксперимента показаны на рисунках 2 и 3.

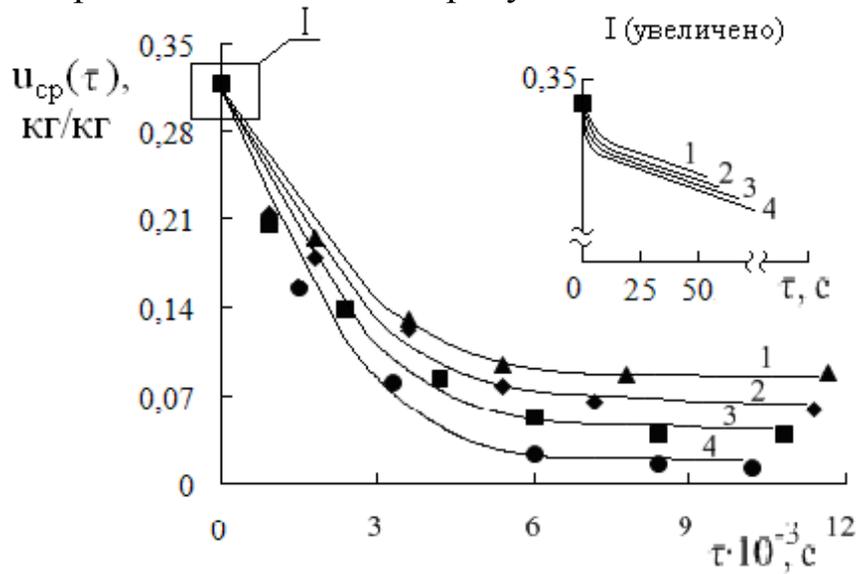


Рис. 2. Кривые сушки глины:
линии – расчетные данные,
точки – экспериментальные данные;
температура воздуха на входе в сушилку,
°C: 1 – 90, 2 – 100, 3 – 110, 4 – 120

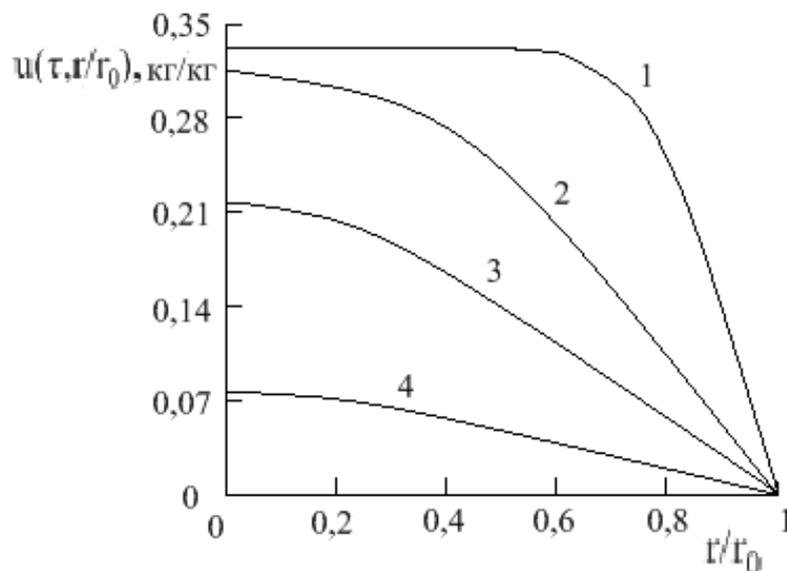


Рис.3. Поля распределения влагосодержания
по безразмерному радиусу частицы материала:
время $\tau \cdot 10^{-3}$, с: 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 2

Удовлетворительное совпадение экспериментальных данных и результатов вычислений позволяет сделать вывод об адекватности разработанной математической модели реальному процессу. Среднее отклонение расчета от эксперимента не превышает 12 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. – Сажин М.: Наука, 1997. – 448 с.
2. Диткин, В.А. Справочник по операционному исчислению / В.А. Диткин, А.П. Прудников. – М.: Высш. шк., 1965. – 465 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

В.И. Нежурин, О.А. Хаботина, В.Т. Емчицкий, В.М. Сиваченко
*Украина, Национальная металлургическая академия Украины,
УкрНИИспецсталь*

Процессы непрерывной рудовосстановительной плавки контролируются по достаточно большому количеству показателей. При этом главные показатели скрыты от плавильного персонала, поскольку, например, работа АСУ ТП сводится в основном к учету загруженной шихты и оценке электрических характеристик как более наглядно контролируемых. Такой подход приводит к расхождению физико-химических условий восстановительных процессов. В результате этого шлак на печах зачастую выпускается непрогретым, что характеризует неполноту протекания термического восстановления металлов и разделения продуктов при выпуске. Исключение этих особенностей возможно с использованием математического моделирования, однако на данный момент не существует детерминированной математической модели рудовосстановительных процессов, поскольку такая модель слишком сложна, а поэтому целесообразно использовать возможности стохастических моделей.

Плавильный персонал регулирует процесс, отсеивая несущественные параметры на текущий момент. Через несколько смен такие параметры, как величина перепуска электродов, навеска кокса или интенсивность выхода металла начинают играть более существенную роль в работе печи, и тогда они включаются в общую оценку для адекватного воздействия на процесс.

Для рационального алгоритма управления, но уже формализованного методами прикладной математики, наиболее подходит метод факторного анализа (ФА). Удобство ФА в том, что большие массивы данных сводятся к нескольким строчкам (или столбцам) с оценками влияния параметров процесса. При этом каждый столбец (фактор) отобража-

ет конкретную физическую величину или участок технологии. Так при обработке массива с 26-ю переменными была получена их систематизация на 2 фактора, которые характеризуют строение ванны печи, состоящей из двух слоёв: верхнего, где шихта прогревается, и нижнего, где протекают восстановительные процессы.

Схематическая постановка расчетов достаточно проста.

Как известно, коэффициент корреляции (КК) характеризует тесноту связи двух величин. Если какие-то две величины представить как единичные векторы, то КК – это косинус угла между этими векторами. Множество корреляций записывается как матрица коэффициентов корреляций (МКК). Геометрически это пучок единичных векторов, выходящих из одной точки. МКК получают при корреляционно-регрессионной (первичной) обработке данных. С помощью ФА из матрицы КК выделяют факторы, которые геометрически интерпретируются как оси, выходящие из одной центральной точки и группирующие вокруг себя пучки наиболее тесно связанных КК-ий. Проекция каждого единичного вектора от КК на такую ось и даст факторную нагрузку, которая так же, как и КК, измеряется в пределах от -1 до $+1$. По абсолютной величине переменных (т.е. их нагрузок) представляется возможным судить о качественном содержании фактора. При этом нагрузки ≤ 0.1 считаются незначимыми, т.е. нулевыми.

В нашем случае каждая ось (фактор) – это слой соответствующих шихтовых материалов. ФА работы печи РПЗ-63 позволил выделить 2 фактора (рис. 1), которые группируют между собой около 26 характеристик и на рисунке 1 представлены в виде координатных осей. Результаты расчётов представлены в таблице 1. На печи имеется три фазы состояния вещества: твёрдое, жидкие расплавы шлака и металла и газообразные продукты.

По этим фазам и идёт распределение факторных нагрузок.

Шлак и шихта определяют один фактор, а газ и металл – второй. Количество металла пропорционально выделенному теплу (о тепловой энергии судят по мощности (P) и по расходу электроэнергии (MWG)).

Количество газа (M3) пропорционально восстановленному металлу (Me). На одной оси имеем количество шлака и основные составляющие шихты: агломерат, кокс, кварцит (Agl, Koks, Kvt); на другой оси – мощность, выделяемая в печи, которая влияет на выход газа. Выход водорода и кислорода говорит о влажности шихты. Эти газы выделяются в верхних слоях ванны. То, что мощность (P) и расход электроэнергии (MWG) лежат рядом, говорит о минимуме простоев. Количество шлака (Slak) связано с количеством Mn в нём (Mn_sk).

При недостаточной интенсивности восстановления растут и коли-

чество шлака, и процент (Mn) в нём. Содержание Mn в сплаве (Mn_me) зависит от перехода (Mn) \rightarrow [Mn], т.е. из шлака в металл, поэтому вполне логично, что содержание Mn в металле (Mn_me) лежит на оси шлака. Также содержание [Si] указывает на горячий или холодный ход процесса, что в свою очередь связано с количеством шлака.

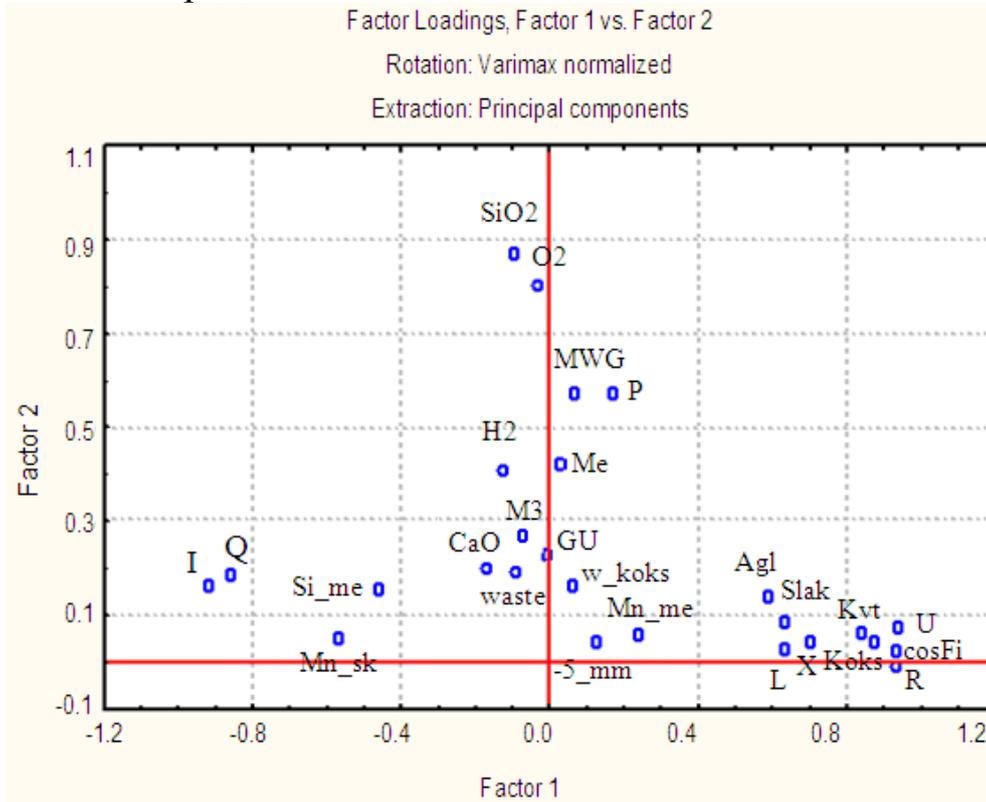


Рис. 1. Сведение 26-ти наблюдаемых переменных (с посменным усреднением) к 2-м факторам, которые соответствуют 2-м слоям ванны печи (описание обозначений переменных - в таблице 1)

Количество подведенной энергии в большей степени влияет на процессы восстановления, а следовательно, и на состав шлака. При интенсификации процесса восстановления Mn из (Mn) шлака, количество (SiO_2) в шлаке будет возрастать, т.к. Mn восстанавливается легче, чем кремний. Поэтому (SiO_2) лежит на оси «металла».

При нормальной посадке электродов нижние слои ванны становятся более прогретыми, что способствует процессам восстановления. Это означает, что если имеется связь электрических параметров с выплавленным металлом (Me), то посадка электродов оптимальна. Отрицательное (или противоположное) значение тока на факторной оси «Металл-электропараметры» объясняется тем, что ток связан с сопротивлением обратной зависимостью. Рост перепуска должен уменьшать омическое сопротивление. Однако перепуск (L) и сопротивление (R)

находятся рядом на одной оси, т.к. перепуск просто автоматически увеличивают при росте сопротивления.

Таблица 1

Нагрузки 26-ти наблюдаемых переменных на факторные оси, которые соответствуют 2-м слоям шихты ванны печи

№	Обозначение	Физический смысл	Факторы (факторные оси)	
			1	2
1	Me	Выплавленный сплав	.03	.42
2	Si_me	Содержание кремния в металле	-.46	.15
3	Mn_me	Содержание марганца в металле	.24	.06
4	Slak	Количество шлака	.63	.09
5	Mn_sk	Содержание Mn в шлаке	-.57	.05
6	SiO2	Содержание SiO ₂ в шлаке	-.1	.87
7	CaO	Содержание CaO в шлаке	-.17	.20
8	M3	Выходящий газ	-.04	.25
9	H2	Содержание H ₂ в газе	-.13	.41
10	O2	Содержание O ₂ в газе	-.03	.80
11	MWG	Расход эл.энергии	.07	.57
12	P	Мощность МВт	.17	.57
13	Q	Реактивная мощность	-.86	.18
14	cosFi	Коэф. использ. мощн. (cos φ)	.93	.02
15	Ag1	Количество агломерата	.59	.14
16	Kvt	Количество кварцита	.84	.06
17	Koks	Количество кокса	.87	.04
18	GU	Количество газового угля	-.01	.23
19	waste	Количество отходов	-.09	.19
20	w_koks	Влажность кокса	.06	.16
21	-5_mm	Отсев – 5 мм	.13	.04
22	L	Перепуск электродов	.63	.03
23	R	Активное сопротивление	.93	-.01
24	X	Реактивное сопротивление	.70	.04
25	I	Ток	-.92	.16
26	U	Напряжение	.94	.07

Таким образом, проведенный анализ показывает, что факторами являются два слоя печной ванны, один из которых охватывает шихтово-шлаковую зону, а второй – шлако-металлическую зону ванны печи. Поэтому становится возможным объяснить, почему кокс и газовый уголь относятся к разным факторам. Кокс вступает в реакцию раньше, а газовый уголь как менее активный компонент достигает большей глубины реакционной зоны (рис. 1).

При обработке выборки с данными по каждому из электродов удастся получить более 5-ти факторов, которые затем представляются как новые переменные для нахождения факторов 2-го порядка. Полученное дерево структуры представляется возможным использовать для более глубокого анализа процессов восстановления в рудовосстановительных печах.

Выводы:

1. ФА может показать участки технологии (в нашем случае это строение шахты ванны печи), которые существенно влияют на процесс выплавки сплава.

2. Подтвержден ряд практических и теоретических исследований по строению шахты ванны рудовосстановительных печей.

3. Выделение структуры причин позволяет использовать ФА для построения экспертных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иберла, К. Факторный анализ. Пер с нем. / К. Иберла. - М.: Статистика, 1980. – 398 с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**К.Э. Одинцов, Ю.Н. Кондрашева, Л.А. Маслов,
А.А. Николаев**

*Россия, Магнитогорский государственный
технический университет*

Для оценки надежности электрооборудования необходим большой объем статистических данных, включающих информацию об отказах отдельных элементов и их причинах. В производственных условиях такая информация либо недоступна, либо ее объем недостаточен для получения достоверных результатов. Поэтому для расчета надежности электрооборудования предложена методика, основанная на применении логико-вероятностного метода с последующей экспертной оценкой технического состояния объекта [1, 2].

Расчет надежности по данной методике проводится в несколько этапов:

1. Этап построения дерева отказов, который включает в себя:
 - определение возможных внешних и внутренних причин отказа исследуемой системы; разделение системы на конечное число под-

систем и отдельных элементов, каждый из которых представляется независимым бинарным событием (работоспособность/отказ);

– графическое описание условий комбинаций отказов элементов и подсистем, а также влияния внешних факторов, приводящих к отказу всей системы.

Обобщенный вид дерева отказов системы приведен на рисунке 1.

2. Этап логического моделирования, на котором по построенному дереву отказов записывается логическая функция работоспособности системы Y_F .

3. Этап вероятностного моделирования, на котором функция работоспособности системы Y_F преобразуется в многочлен вероятностной функции $P_F(t)$, описывающий закон распределения времени безотказной работы системы.

4. Этап расчета показателей надежности системы, который включает:

– определение показателей надежности отдельных элементов дерева отказов

$$\lambda = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad T_o = \frac{1}{\lambda},$$

где λ – интенсивность отказов элемента, $\Delta n(\Delta t)$ – число отказов элемента за интервал времени Δt , N – среднее число исправно работающих объектов (систем) в интервале времени Δt , T_o – время наработки элемента на отказ;

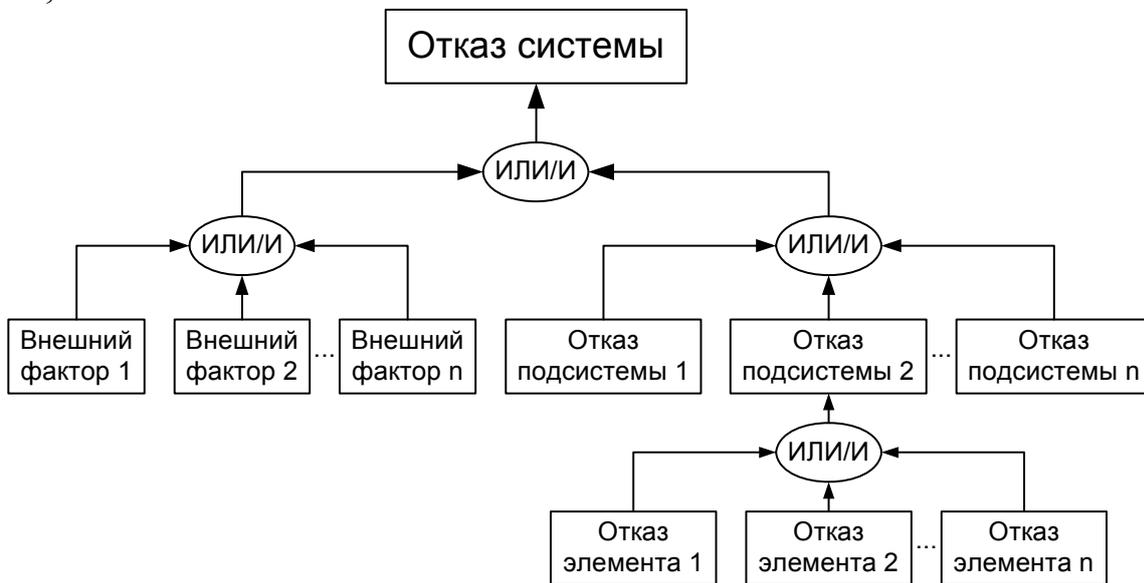


Рис. 1. Обобщенный вид дерева отказов

– расчет вероятностных параметров всех элементов

$$p(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/T_o}, \quad q(t) = 1 - p(t),$$

где $p(t)$ – вероятность безотказной работы элемента, $q(t)$ – вероятность отказа элемента;

- получение многочлена вероятностной функции $P_F(t)$ всей системы;
- расчет времени наработки на отказ или интенсивности отказов всей системы

$$T_{oF} = \int_0^{\infty} P_F(t) dt, \quad \Lambda_F = \frac{1}{T_{oF}},$$

где T_{oF} – время наработки на отказ, Λ_F – интенсивность отказов системы.

Необходимым условием расчета надежности всей системы является определение показателей надежности отдельных элементов. От точности и корректности выполнения этого этапа зависит достоверность результатов всего расчета.

Выбранные показатели надежности элементов системы могут быть определены с использованием следующих методов:

1. Статистический метод, заключающийся в анализе данных об отказах электрооборудования с использованием аппарата математической статистики. Недостатком данного метода является то, что для анализа необходимо иметь достаточно большой объем статистической информации, которая не всегда доступна. Положительный момент заключается в том, что выводы, сделанные при таком анализе, имеют высокую степень достоверности, поскольку при этом учитывается специфика конкретного исследуемого объекта (режим его работы, условия эксплуатации, режим технического обслуживания и т.д.).

2. Метод экспертных оценок [3], заключающийся в формировании группы специалистов в области наладки и обслуживания электрооборудования и анализе данных ими оценок показателей надежности элементов. Преимуществом данного метода является возможность быстрого получения результатов, поскольку нет необходимости в большом объеме статистических данных, оценки даются экспертами исходя из накопленного ими опыта работы с объектами данного типа. Недостатком же является высокая степень обобщенности результатов, т.е. более низкая достоверность.

Метод экспертных оценок предполагает проведение опроса группы специалистов. Опрос может проводиться различными способами: анкетирование, интервьюирование, «мозговой штурм», метод Дельфи и др. Опрос может проводиться в один или несколько этапов, с проверкой степени согласованности мнений экспертов на каждом этапе или только на заключительном. Здесь рекомендуется проведение анкетирования, когда экспертам предлагается заполнить опросный лист.

Оценки, данные экспертами, должны быть проверены на согласованность с целью повышения достоверности результатов. Поскольку полученные оценки являются количественными величинами, их необ-

ходимо проранжировать [3]. Для этого всем элементам системы присваивается ранг от единицы до k (число выделенных элементов). Ранг, равный единице, соответствует наименее надежному элементу системы, т.е. наименьшей оценке эксперта. Ранг, равный k , присваивается наиболее надежному элементу системы, по мнению эксперта. Промежуточные ранги присваиваются элементам также в порядке увеличения надежности: численное значение ранга увеличивается по мере увеличения надежности. Некоторым объектам присваиваются одинаковые ранги, если эксперты считали их надежность одинаковой, соответствующей одному уровню.

Для оценки степени согласованности мнений экспертов необходимо рассчитать коэффициент конкордации (согласованности) [3]:

1. Для каждой строки (элемента) рассчитывается суммарный ранг r_j , где j – номер строки (элемента).

2. Находится средняя величина суммарных рангов:

$$a = 0,5m(k + 1),$$

где m – число экспертов; k – число выделенных элементов системы.

3. Рассчитывается сумма квадратов отклонений суммарных рангов r_j от их среднего значения a , т. е. дисперсия суммарных рангов:

$$\sum_{j=1}^k L_j^2 = \sum_{j=1}^k (r_j - a)^2.$$

4. Рассчитывается величина T_u , учитывающая число типов связанных рангов в каждом столбце, т.е. число одинаковых оценок, данных экспертом:

$$T_u = \sum_{l=1}^n (t_l^3 - t_l),$$

где t – число l -х типов равных рангов в u -ом столбце; n – число типов связанных рангов в столбце.

5. Рассчитывается коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^k L_j^2}{m^2 (k^3 - k) - m \sum_{u=1}^m T_u}.$$

Оценки экспертов полагают согласованными в том случае, если коэффициент конкордации $W > 0,5$ [3]. Уточнить сделанный вывод можно, используя χ^2 -статистику, согласно которой рассчитывается значение критерия χ^2 :

$$\chi^2 = mfW,$$

где f – число степеней свободы, $f = k - 1$.

Затем определяется критическое значение $\chi_{кр}^2$ на уровне значимости $q = 0,05$ при числе степеней свободы f . Если условие $\chi_{кр}^2 < \chi^2$ выполняется, то оценки экспертов согласованы и для дальнейших расчетов используются их средние значения, рассчитанные по формуле:

$$T_{эj} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{oi}}{m},$$

где $T_{эj}$ – среднее значение экспертной оценки среднего времени наработки на отказ j -ого элемента из k выделенных; T_{oi} – оценка среднего времени наработки на отказ j -ого элемента, данная i -ым экспертом.

Проблема подбора экспертов является одной из наиболее сложных в теории и практике экспертных исследований. Очевидно, в качестве экспертов необходимо использовать тех людей, чьи суждения наиболее существенно помогут принятию адекватного решения. При этом возникают неизбежные трудности в подборе таких людей. Поэтому следует признать, что нет методов подбора экспертов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карандаев, А.С. Расчет надежности электроприводов при внедрении преобразователей частоты / А.С. Карандаев, А.А. Шеметова, О.И. Карандаева и др. // Изв. вузов. Электромеханика.- 2010.- № 1. – С. 59–64.
2. Шеметова, А.А. Анализ надежности системы управления главным электроприводом чистовой клетки стана 2500 / А.А. Шеметова, А.С. Карандаев, О.И. Карандаева // Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2007).– СПб., 2007. – С. 414 – 417.
3. Фалеева, М.И. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие для вузов / Под ред. М. И. Фалеева. – М., 2002. – 360 с.

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ СУШКЕ КЛЕЕВОГО ПОКРЫТИЯ

**С.Ю. Осипов, Н.А. Бормосов, Ю.Р. Осипов,
С.В. Иванова, А.Н. Душинов**

*Россия, Тверской государственный технический университет
Россия, Вологодский государственный университет*

В процессе сушки при внешнем подводе теплоты испарение растворителя происходит с поверхности клеевого покрытия. Потенциалом продвижения растворителя из внутренних слоев к поверхности испарения является градиент влагосодержания Δu , образующийся внутри клеевого покрытия.

Вследствие наличия в процессе высушивания градиента влагосодержания испарение растворителя в отдельных слоях по толщине покрытия происходит одновременно, и это приводит к возникновению в покрытии напряжений. При сушке и усадке внешних слоев клеевого покрытия в них возникают растягивающие напряжения, в то время как внутренние слои сжимаются и в них развиваются напряжения сжатия. При высыхании внутренних слоев их усадке препятствуют наружные слои, в которых усадка к этому времени заканчивается.

В результате этого процесса испарение растворителя оказывается незавершенным, это снижает адгезионные свойства покрытия, создает опасность образования поверхностной корки.

Согласно А.В. Лыкову [1] величина возникающих напряжений определяется градиентом влагосодержания по толщине высушиваемого материала:

$$P = \frac{2\beta \cdot E \cdot \Delta u}{3(1 + \beta \cdot u_f) \cdot (1 - \mu)},$$

где P - максимальное растягивающее напряжение; β - коэффициент линейной усадки; $\Delta u = (u_{Ц} - u_{П})$ - перепад влагосодержания между центральным и поверхностными слоями; μ - коэффициент Пуассона.

Градиенты влагосодержания определяются из уравнений тепло-влажнопроводности, аналитическое решение которых представляет значительные трудности. Поэтому возникает необходимость получения упрощенной критериальной зависимости для расчета поля влагосодержания в процессе сушки плоских материалов.

При условии отсутствия градиента давления ($dP/dx=0$) дифференциальное уравнение нестационарной влажнопроводности с учетом термо-влажнопроводности для одномерной задачи имеет вид:

$$\partial u / \partial \tau = a_m \left(\partial^2 u / \partial x^2 + \delta_T \partial^2 T / \partial x^2 \right),$$

где a_m - коэффициент массопроводности материала; δ_T - термоградиентный коэффициент; T - длительность сушки; x - координата.

Аппроксимируем распределение температуры и растворителя по толщине клеевого слоя параболой (рис. 1) [2]:

$$u(x) = u_\Gamma - (u_\Gamma - u_\Pi) x^2 / h^2;$$

$$T(x) = T_\Gamma - (T_\Gamma - T_\Pi) x^2 / h^2,$$

где u_Π , T_Π - влагосодержание и температура на поверхности клеевого покрытия; u_Γ , T_Γ - влагосодержание и температура на поверхности полотна h - толщина клеевого покрытия.

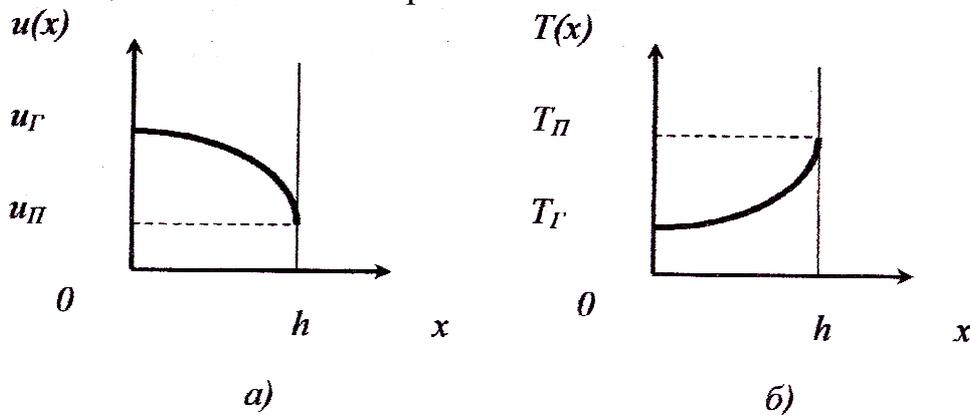


Рис. 1. Схема распределения в клеевом покрытии:
а - растворителя; б — температуры

Дифференцируя уравнения (3) и (4), получаем:

$$\partial^2 u / \partial x^2 = -2(u_\Gamma - u_\Pi) / h^2;$$

$$\partial^2 T / \partial x^2 = -2(T_\Gamma - T_\Pi) / h^2.$$

Из уравнений (5) и (6) следует:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{(T_\Gamma - T_\Pi)}{(u_\Gamma - u_\Pi)} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

Подставляя (7) в уравнение (2), получаем:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \delta_T \frac{(T_\Gamma - T_\Pi)}{(u_\Gamma - u_\Pi)} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right).$$

Используя критерий Поснова $Pn = \delta_T (T_\Gamma - T_\Pi) / (u_\Gamma - u_\Pi)$, определяемый как относительный перепад влагосодержания тел, вызванный разностью температур, преобразуем уравнение (8):

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m (1 - Pn) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

Введя понятие эффективного коэффициента влагопроводности $\tilde{a}_m = a_m (1 - Pn)$, учитывающего наличие термоградиентного коэффициента получаем следующую форму уравнения (2):

$$\partial u / \partial \tau = \tilde{a}_m \partial^2 u / \partial x^2,$$

уравнение (10) можно представить в виде:

$$\partial u / \partial \tau = -2\tilde{a}_m (u_{\tilde{A}} - u_{\tilde{I}}) / h^2.$$

Уравнение (11) позволяет, зная значение эффективного коэффициента влагопроводности a_m , определять перепад между нижним и верхним слоями клеевого покрытия непосредственно из кривой скорости сушки.

Для нахождения величины градиента влагосодержания Δu в зависимости режима сушки необходимо совместное решение дифференциального уравнения влагопроводности (2) с граничными (краевыми) условиями. Для одномерной задачи при условии $dP/dx = 0$ в первом периоде сушки граничное условие согласно [1] можно записать в виде:

$$a_m \rho_0 (\partial u / \partial x) + a_m \delta_T (\partial T / \partial x) = j_m,$$

где $j_m = \alpha (T_c - T_m) / r$ интенсивность сушки; $T_c - T_m$ - теплообменный потенциал сушки; α - коэффициент теплообмена; r - скрытая теплота парообразования, ρ_0 - плотность материала.

Значения термоградиентного коэффициента δ_T во много раз меньше значений коэффициента массопереноса a_m . При низкоинтенсивном процессе сушки с малыми значениями градиента температур можно с достаточной степенью точности пренебречь вторым слагаемым в уравнениях (2) и (12). Тогда уравнение влагопроводности с граничными условиями имеет вид:

$$a_m (\partial^2 u / \partial x^2) = \partial u / \partial \tau,$$

$$a_m \rho_0 (\partial u / \partial x) = j_m.$$

Граничное условие (14) можно записать:

$$-2a_m \rho_0 (u_{\tilde{A}} - u_{\tilde{I}}) / h = \alpha (T_c - T_i) / r,$$

где левая часть уравнения отображает количество влаги, подведенное к поверхности материала, а правая - среднюю интенсивность влагообмена в процессе сушки. В результате несложных преобразований соотношение (15) можно представить в виде:

$$\frac{(u_{\bar{I}} - u_{\bar{A}})}{(u_0 - u_p)} = \frac{1}{2} \frac{\alpha h c (T_c - T_i)}{\lambda r (u_0 - u_p) c \rho_0 a_m} \frac{\lambda}{\lambda}$$

или в критериальной форме:

$$\frac{(u_{\bar{I}} - u_{\bar{A}})}{(u_0 - u_p)} = \frac{Bi}{2 \tilde{E} \hat{i} \cdot Lu},$$

где $Bi = \alpha h / \lambda$ - критерий Био; λ - коэффициент теплопроводности материала; $Lu = a_m / a$ - критерий Лыкова; $a = \lambda / c \rho_0$ - коэффициент теплопроводности материала; $\tilde{E} \hat{i} = r (u_0 - u_p) / c (T_c - T_i)$ - критерий эффективности. Это отношение количества теплоты затраченной на испарение влаги к количеству теплоты затраченной на нагрев материала до температуры греющей поверхности (греющей среды). Применительно к конвективной сушке, когда материал во втором периоде нагревается до температуры греющей среды, величина K_0 численно равна критерию Коссовича.

При параболическом распределении влагосодержания в результате преобразования уравнения (13) получаем следующее соотношение в критериальной форме:

$$(u_{\bar{I}} - u_{\bar{A}}) / (u_0 - u_p) = Ki / 2,$$

где Ki - критерий Кирпичева: $Ki = \frac{j_m h}{a_m u_0 \rho_0}$ - для периода постоянной

скорости сушки; $Ki_{(\tau)} = \frac{h^2 du}{a_m u_0 d \tau}$ - для второго периода сушки.

Совместное решение уравнений (17) и (18) позволяет определить градиент содержания растворителя в клеевом слое в зависимости от режима сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. 2-е ИЗД., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1968. - 472 с.
2. Осипов, Ю.Р. Тепломассоперенос при сушке клеевых покрытий гуммированных объектов / Ю.Р. Осипов, С.В. Иванова. - Вологда: ВоГТУ, 2008. - 138 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ И СЛОЕМ В АППАРАТАХ ИНТЕНСИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ю.Р. Осипов, Н.Э. Дымов

Россия, Вологодский государственный университет

В ряде производств химической, целлюлозно-бумажной, текстильной и других отраслей промышленности, выпускающих различного рода листовые материалы, значительное место отводится термообработке (сушке, вулканизации и др.). Именно этот процесс в большинстве технологических схем является заключительной стадией, определяющей качество готового продукта. Однако используемое на отечественных предприятиях оборудование для термообработки зачастую не отвечает предъявляемым к ним требованиям. Основными недостатками используемых в производстве листовых материалов установок для термообработки являются высокие материало- и энергоёмкость, длительность процесса, большое количество брака и ручного труда. В связи с этим возникает необходимость в создании нового высокоинтенсивного оборудования, позволяющего выпускать продукцию высокого качества в требуемом количестве.

Разработка такого оборудования предполагает системный экспериментально-теоретический подход к изучению явлений теплопереноса при термообработке листовых материалов и разработку на его основе научно обоснованных методов расчёта.

Применение метода псевдооживления позволяет вести процессы сушки и вулканизации с высокими температурами теплоносителя. Исследования [1, 2] показали, что при резком сокращении времени термообработки материала значительно повышается качество готовой продукции за счёт улучшения адгезии покрытия к ткани. Однако отсутствие единой теории процесса переноса тепла в псевдооживленном слое, надёжных уравнений для расчётов создает определённые трудности при проектировании аппаратов без решётчатого типа, применяемых при вулканизации тканей с полимерными покрытиями.

Проведём теоретический анализ процесса теплообмена между поверхностью и слоем на основе комбинированной модели теплопереноса. Предполагается, что общее значение коэффициента теплоотдачи α включает в себя три составляющие: конвективную, кондуктивную и лучистую, т.е.

$$\alpha = \alpha_{\text{конд}} + \alpha_{\text{конв}} + \alpha_{\text{луч}} . \quad (1)$$

Учитывая, что величина $\alpha_{\text{луч}}$ оказывает заметное влияние на теплообмен только в высокотемпературных процессах, а вулканизация полимерных покрытий на тканях происходит при температурах сравнительно низких, влияние $\alpha_{\text{луч}}$ на общее значение α не рассматривается и уравнение (1) имеет вид:

$$\alpha = \alpha_{\text{конд}} + \alpha_{\text{конв}} .$$

В предлагаемой модели частицы твёрдого материала, двигаясь хаотично, турболизируют газовый поток. Теплообмен происходит как за счёт контакта частиц с поверхностью, так и путём теплопроводности через пограничную газовую плёнку. В местах контакта частиц с поверхностью поверхностная плёнка разрушается и возобновляется в пространстве между ними.

Исходя из кубической укладки расстояние между центрами частиц L находится из соотношения

$$L = 0,807d / (1 - \varepsilon)^{1/3} ,$$

где d – диаметр частицы; ε – порозность слоя.

Количество частиц, находящихся в контакте с поверхностью, равной 1 м^2 , выразится как

$$N = (1 - \varepsilon)^{1/3} / 0,65d^2 . \quad (2)$$

Величина контактного пятна определяется по его радиусу с помощью уравнения Герца:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \pi r_0 (\delta_1 - \delta_2) F} ,$$

где F – сила контакта.

Теория удара даёт для дополнительных деформаций δ_1 и δ_2 соударяющихся тел выражение

$$\delta_{1,2} = (1 - \mu_{1,2}^2) / \pi E_{1,2} ,$$

где μ – коэффициент Пуансона; E – модуль Юнга.

Силы удара F и ударный комплекс S определяются из величины ударного импульса и из динамических условий движения частицы

$$F = S / \tau ;$$

$$S = m u_n k ,$$

где m – масса частицы; u_n – нормальная составляющая скорости частицы; k – коэффициент восстановления.

Время удара τ частицы о поверхность рассчитывается по уравнению теории удара как

$$\tau = 1,63 \left[\frac{(\delta_1 - \delta_2) m}{\sqrt{r_0} u_n} \right]^{2/5} .$$

Нормальную к поверхности скорость движения частицы предполагается выразить через вертикальную скорость движения, причём

$$u_B = 0,011\omega_{кр} \left(2 + \frac{h}{H}\right) \left[1,17 - \left(\frac{r}{R}\right)^{0,5}\right] \left(\frac{\omega_p}{\omega_{кр}} - 1\right)^{2/5}, \quad (3)$$

где h, R – координаты частицы в слое; ω_p и $\omega_{кр}$ – соответственно рабочая и критическая скорость оживающего агента.

Уравнение (3) даёт удовлетворительное совпадение с опытными данными для чисел псевдооживления $W = (\omega_p/\omega_{кр}) \leq 5$.

Критическую скорость псевдооживления $\omega_{кр}$ предполагается рассчитывать по уравнениям скорости W и диаметра D_m

$$W = \frac{\omega_{кр}}{\sqrt[3]{g\nu}},$$

$$D_m = d_p \sqrt[3]{\frac{g}{\nu^2}},$$

$$W = cD_m^n \left(\frac{\rho_\tau - \rho_r}{\rho_r}\right)^{0,6},$$

где ν – вязкость оживающего агента.

При $D_m \leq 3$ $c=0,025$, $n=1,3$, а при $D_m \geq 3$ $c=0,045$, $n=0,765$ [2]. В момент контакта частицы с поверхностью происходит нестационарный теплообмен через «пятно» контакта, площадь которого равна $f=\pi a^2$. Согласно теории кратковременного контакта температурное поле в частице описывается уравнением:

$$T_{CT} - T = (T_{CT} - T_{KP})G(\eta),$$

где $G(\eta)$ – интеграл ошибок Гаусса.

Количество теплоты, переданной от более нагретого тела менее нагретому за время контакта τ , определяется как

$$q_1 = f \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\lambda_\tau c_\tau \rho_\tau} \sqrt{\tau} (T_{CT} - T),$$

где $\lambda_\tau, c_\tau, \rho_\tau$ – теплопроводность, теплоёмкость и плотность материала частиц.

Количество теплоты, переданной одним квадратным метром поверхности нагрева контактирующими с ней частицами, можно найти из соотношения

$$Q = q_1 N = 2f \frac{\sqrt{\lambda_T c_T \rho_T}}{\sqrt{\pi} \sqrt{\tau}} N (T_{CT} - T_{KC}) G(\eta).$$

За единицу времени будет передано тепла

$$q = \frac{Q}{\tau} = 2f \frac{\sqrt{\lambda_T c_T \rho_T}}{\sqrt{\pi} \sqrt{\tau}} N (T_{CT} - T_{KC}) G(\eta). \quad (4)$$

Подставим в (4) значение из (2) и, отнеся количество тепла Q к разности температур $(T_{ст}-T_{кв})$, можно получить выражение для кондуктивной составляющей коэффициента теплоотдачи α :

$$\alpha_{конд} = \frac{1,71f\sqrt{\lambda_{ст}c_{ст}\rho_{ст}}}{d^2\sqrt{\tau}}(1-\varepsilon)^{2/3}G(\eta). \quad (5)$$

Структура уравнения (5) указывает на то, что кондуктивная составляющая коэффициента теплоотдачи зависит от теплофизических и механических характеристик материала частиц и гидродинамической обстановки в слое.

Конвективная составляющая α рассчитывается из предположения стационарности теплообмена между поверхностью и пограничной плёнкой газа

$$\alpha_{конв} = (\lambda_r/\delta_r)_{ср}. \quad (6)$$

Толщину пограничной плёнки δ_r определяем, используя уравнение Д. Вассена:

$$\delta_r = 0,0597d(A/B); \quad (7)$$

$$A = (1+B^{5/4})^{9/5} - (B)^{9/4}, \quad B = 0,3447(1-\varepsilon)^{4/15}(Re)^{1/5},$$

где $Re = \omega d/\nu$ – критерий Рейнольдса.

Подставив значения δ_r из (7) в (6) можно найти

$$\alpha_{конв} = (\lambda_r B / 0,0597 d A).$$

Тогда общее значение коэффициента теплоотдачи α можно записать как

$$\alpha = \frac{1,71f\sqrt{\lambda_{ст}c_{ст}\rho_{ст}}}{d^2\sqrt{\tau}}(1-\varepsilon)^{2/3}G(\eta) + \frac{\lambda_r B}{0,0597 d A}. \quad (8)$$

Расчёт α по выражению (8) показал, что максимальные значения коэффициента теплоотдачи должны наступать при скоростях псевдооживления, соответствующих порозности $\varepsilon = 0,6-0,7$. На базе уравнения (8) получена упрощенная зависимость α_{max} при $\varepsilon = 0,7$. При этом принимается, что

$$Re = (W\omega_{кр}/\nu).$$

Выразив $\omega_{кр}$ через безразмерную скорость и диаметр по уравнениям для скорости W и диаметра D_m , получим

$$\alpha_{max} = 1,96 W^{0,2} d^{-0,54} \nu^{-0,31} \rho_{\tau}^{0,12} \lambda_{\tau}. \quad (9)$$

Сопоставление расчётных значений α_{max} , полученных по уравнению и эмпирическим уравнениям других исследователей, даёт незначительное отклонение для широкого интервала размеров частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельперин, Н.И. Основы техники псевдооживления / Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, В.Б. Кваша. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
2. Романков, П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П.Г. Романков, М.Б. Рашковская. – Л.: Химия, 1968. – 358 с.

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ГУММИРОВОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**С.Ю. Осипов, Ю.Р. Осипов, Н.А. Бормосов,
Е.С. Смирнов, А.Н. Душинов**

*Россия, Тверской государственный технический университет
Россия, Вологодский государственный университет*

В работе рассмотрено производство гуммированной техники и деталей машин на комплексных поточно-автоматизированных линиях, которое предъявляет высокие требования к вулканизационному процессу и оборудованию для его осуществления. В связи с этим становятся актуальными исследования по применению адаптивной системы оптимального управления с прогнозирующей моделью на качественные показатели гуммировочных покрытий.

Теоретическим обоснованием применения ПИ-регуляторов служит, например, метод синтеза линейного ПИ-регулятора для инерционного объекта, полученный из решения вариационной задачи с функционалом общего вида [1]

$$J = \int (x^2 + u^2 + \dot{u}^2) dt,$$

где x^2 — слагаемое, учитывающее качество процессов; u^2 — слагаемое, учитывающее стоимость управления; \dot{u}^2 — слагаемое, учитывающее возможность технической реализации.

Рассмотрим метод синтеза структурной схемы дискретного ПИ-регулятора по передаточной функции линейного ПИ-регулятора с независимыми параметрами настройки K_{II} и T_{II} , имеющей вид:

$$W(s) = K_I \left(1 + \frac{1}{T_{\dot{E}} s} \right),$$

где K_{II} - коэффициент пропорциональности; T_{II} - постоянная времени интегрирования.

Выходная координата регулятора с передаточной функцией (2) изменяется в соответствии с формулой:

$$Y - Y_0 = P + I = K_I \varepsilon(t) + \frac{K_I}{T_{\dot{E}}} \int_0^t \varepsilon(t) dt,$$

где Y_0 - начальное положение выходной координаты; $P = K_{II} \varepsilon(t)$ - пропорциональная составляющая; $I = \frac{K_I}{T_{\dot{E}}} \int_0^t \varepsilon(t) dt$ - пропорциональная составляющая; $\varepsilon(t)$ — ошибка регулирования; t — время.

Предположим:

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} \varepsilon = const, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$$

$$Y = \int_0^t V_0 dt,$$

где $V_0 > \varepsilon_{\max} = const$, тогда из (3) и (5) шаг с учетом (4) получим:

$$\varepsilon + \frac{1}{T_{\dot{E}}} \int_0^t \varepsilon dt = \frac{1}{\hat{E}_I} \int_0^t V_0 dt,$$

откуда, задаваясь величиной V_0 , определяем t_1 :

$$t_1 = \frac{T_{\dot{E}} \hat{E}_I \varepsilon}{V_0 T_{\dot{E}} - \hat{E}_I \varepsilon}.$$

Обозначив изменение интегральной составляющей на интервале времени t_2 через ΔI , из (3) и (5) получим:

$$\Delta I = \frac{1}{T_{\dot{E}}} \int_0^{t_2} \varepsilon dt = \frac{1}{K_I} \int_0^{t_2} V_0 dt - \varepsilon = \Delta \ll \varepsilon,$$

откуда определим интервал времени t_2 , в течение которого выходная координата регулятора изменится на величину Δ :

$$t_2 = \frac{T_{\dot{E}} \Delta}{\hat{E}_I \varepsilon}.$$

Перепишем (3) в виде:

$$K_I \varepsilon = \int_0^t V_0 dt - \frac{K_I}{T_{\dot{E}}} \int_0^t \varepsilon dt.$$

Обозначим $\Delta P = K_{II} \Delta$, тогда из (10) определим интервал времени t_3 , в течение которого пропорциональная часть регулирующей координаты изменится на величину ΔP :

$$t_3 = \frac{\Delta}{(V_0 / \hat{E}_I) - (\varepsilon / \dot{O}_{\dot{E}})}.$$

Предположим, что $T_{II} \rightarrow \infty$, тогда из (3) следует:

$$P = \hat{E}_I \varepsilon = \int_0^t V_0 dt,$$

откуда:

$$t_4 = (\hat{E}_I \varepsilon / V_0) < t_1.$$

Из (4) и (6) следует, что за интервал времени III выходная координата регулятора изменилась на величину $P + \Delta P$, а из (10) и (11) видно, что за интервал времени t_3 выходная координата изменится на величину $\Delta P + \Delta I$.

Нетрудно доказать, что закон регулирования $u(t)$ можно представить выражением:

$$u(t) = \left(t_1 + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum \frac{t_{2_i}}{t_{2_i} + t_{3_i}} \Delta t \right) V_0.$$

Как известно, большинство объектов, подлежащих автоматизации на нижнем иерархическом уровне АСУ ТП, с достаточной степенью точности может быть аппроксимировано моделью, содержащей последовательное соединение звена запаздывания и инерционных звеньев. Поэтому при управлении такими объектами с целью поддержания постоянства качества регулирования целесообразно ориентироваться на адаптивные законы управления, в которых тем или иным способом автоматическая подстройка параметров компенсирует изменения характеристик объекта. Поэтому наибольшее распространение получили различные варианты ПИД-закона регулирования с элементами адаптации.

Для управления таким объектом при сохранении неизменного качества управления используем следующий адаптивный ПИД-закон:

$$u(t) = K_I(t) \left\{ \varepsilon(t) + T_\delta \dot{\varepsilon}(t) + \frac{1}{T_{\dot{E}}} \int_0^t [\varepsilon(t) + T_\delta \dot{\varepsilon}(t)] dt \right\},$$

где T_δ и $T_{\dot{E}}$ — постоянные параметры, связанные алгебраической зависимостью, а $K_{\Pi}(t)$ — настроечный параметр.

Сам закон изменения коэффициента K_{Π} выбран релейным. Большое значение коэффициента устанавливается в случае, когда переходные процессы в системе затянуты по отношению к эталонным, то есть K_0 невелико. Это значение меняется на $K_{\Pi} = K_2$, если процессы стали более быстрыми по сравнению с эталонными. Для исследования разработанной системы управления процессами теплообмена было произведено гуммирование покрытий под управлением разработанной системы. Вулканизация проводилась с помощью инертного зернистого теплоносителя методом простой конвекции и в вулканизационном котле. В эксперименте было свулканизовано покрытие марки 1751 (СКБ) (0,0015 м)

+ 2566(НК+СКБ) (0,0015 м х 4). При термообработке в среде инертного зернистого теплоносителя и методом простой конвекции температура среды была $T=423$ К, время термообработки $t=2400$ с, при термообработке вулканизационном котле - $T=418$ К, $t=18000$ с. Толщина стальной подложки была одинакова и равнялась $\delta_{ст}=0.001$ м. Аналогичный эксперимент был проведен для покрытий из эбонита марки 1752 (НК+СКБ) (0,0015 м х 4). При термообработке в среде инертного зернистого теплоносителя и методом простой конвекции температура среды была $T=423$ К, $t=3600$ с, при термообработке в вулканизационном котле - $T=413$ К, $t=18000$ с. Толщина стальной подложки была одинакова и равнялась $\delta_{ст}=0.003$ м.

Сравнение результатов показывает, что разработанная оптимальная адаптивная система автоматического управления процессом теплообмена позволяет увеличить равномерность степени вулканизации на 15-50 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю.Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов / Ю.Р. Осипов - М.: Машиностроение, 1995. - 232 с.
2. Осипов, Ю.Р. Автоматизация процессов гуммирования / Ю.Р. Осипов, А.Н. Швецов. - Вологда: ВПИ. 1997. - 209 с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КИНЕТИКИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ И ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ

С.Ю. Осипов, Ю.Р. Осипов, С.В. Волкова

Россия, Вологодский государственный университет

В настоящее время разработаны универсальные математические модели неизотермической вулканизации, описывающие все виды кинетических кривых процессов (монотонные, с экстремумами, с заметным плато и др.) [1,2].

Эти модели позволяют достаточно точно по неизотермическим условиям $T(\tau)$ на основе серии изотермических кинетических кривых рассчитать кинетику неизотермической вулканизации, а также эквивалентные времена вулканизации. Однако в силу громоздкости решений в промышленности рекомендуется применять расчет эквивалентных времен вулканизации с учетом только температурной, но не временной (в

изотермическом процессе) зависимости температурного коэффициента вулканизации.

Современная вычислительная техника позволяет рассчитывать кинетику вулканизации со сколь угодно высокой точностью без существенных затрат времени. Автоматизацию расчетов легче осуществить, применив численные методы моделирования процесса. Ниже предлагается один из таких методов.

В качестве исходных данных используется зависимость температуры T рассматриваемого участка (слоя) от продолжительности вулканизации τ , определяемая экспериментально или расчетом, и серия изотерм, которые получают обработкой реометрических или аналогичных кривых вулканизации резиновых смесей слоев покрытия:

$$T = T(\tau),$$

$$\theta = \theta(\tau),$$

При расчете области значений показателя θ разбиваем прямыми, параллельными оси времени вулканизации, на n интервалов $\Delta\theta = \theta_i - \theta_{(i-1)}$, ($i = 1, 2, \dots, n$), нормируемых к единице. По абсциссам точек пересечения этих прямых с изотермами находим время $\Delta\tau = \tau_i - \tau_{(i-1)}$, где τ - момент достижения значения показателя θ_i степени вулканизации, соответствующее концу каждого интервала, и скорость реализации каждого из них при соответствующих постоянных температурах $u_i = \Delta\theta_i / \Delta\tau_i = (\Delta\tau_i)^{-1}$, а затем ее температурную зависимость:

$$u_i = f_i(T).$$

По функции $T = T(\tau)$, каждому моменты времени τ соответствует определенное значение температуры T , а по функции $u_i = f_i(T)$ каждому из этих значений T для любого $\Delta\theta_i$ отвечает своя скорость изменения температуры, в принципе любого параметра u_i . Таким образом, через промежуточную переменную T можно определить скорость реализации каждого интервала $\Delta\theta_i$ в заданных неизотермических условиях как функцию времени:

$$u_i = f_i[T(\tau)] = u_i(\tau),$$

Интегрированием данной функции при $i=1$ от $\tau_0 = 0$ до последовательно возрастающего верхнего предела τ находим зависимость реализованной доли степени вулканизации w_1 интервала $\Delta\theta_i$ от времени:

$$w_1(\tau) = \int_{\tau_0=0}^{\tau} u_1(\tau) d\tau,$$

Находим время $\tau = \tau_i$, при котором $w_i(\tau) = 1$, что соответствует верхней границе θ_i интервала $\Delta\theta_i$.

Точка $(\tau_0 = 0, \theta_0)$ и полученная совокупность точек (τ_i, θ_i) описывают кинетику вулканизации участка покрытия в заданных неизотермических условиях.

Рассчитаем кинетику вулканизации многослойного гуммировочного покрытия толщиной 6 мм, состоящего из четырех слоев эбонита марки 1752 толщиной по 1,5 мм каждый, на стальной пластине толщиной 2 мм. Гуммированная пластина подвергается термической обработке в псевдооживленном слое инертного зернистого теплоносителя при температурах $T_{nc} = (393 - 443)K$ и коэффициент теплоотдачи $\alpha = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot K)$. Начальная температура образца составляет $T_0 = 293K$. Изменение степени вулканизации по ходу процесса проследим для трех элементарных слоев покрытия, находящихся: на границе со стальной подложкой ($x=2$ мм) – слой, ответственный за адгезию обкладки к металлу; в центре обкладки ($x=5$ мм) – наименее прогреваемый слой покрытия; наружный слой ($x=8$ мм) – наиболее прогреваемый слой покрытия.

Получены расчетные кинетические кривые прогрева эластомерной обкладки в псевдооживленном слое для различных координат по толщине покрытия и режиме термообработки: $T_{nc} = 413K$, $\alpha = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot K)$, $T_0 = 299K$. Также получена экспериментальная зависимость степени изотермической вулканизации эбонита 1752 от продолжительности термообработки в псевдооживленном слое при различных температурах по данным Ю.Р. Осипова [1,2]. Степень вулканизации определялась по содержанию серы [3].

Приведенные зависимости показывают, что при повышении температуры термообработки неравномерность вулканизации возрастает по экспоненте. Неравномерность вулканизации оценивается разностью между степенями вулканизации наиболее и наименее прогреваемых слоев в момент достижения наиболее прогреваемым слоем оптимальной степени вулканизации. С другой стороны, с увеличением температуры сокращается оптимальное время термообработки также по экспоненциальному закону.

С увеличением толщины покрытия разница в степенях вулканизации по толщине растет при всех температурах термообработки. Для резинометаллических изделий, время прогрева которых соизмеримо с продолжительностью вулканизации, решение проблемы установления оптимального режима термообработки имеет первостепенное значение.

Неравномерность вулканизации прямо пропорциональна доли времени прогрева.

Доля прогрева в общей продолжительности вулканизации растет как с увеличением толщины покрытия, так и с повышением температуры термообработки. Однако причина увеличения доли нестационарного периода прогрева не меняет характер указанной зависимости.

Преимущество предложенной методики расчета кинетики неизотермической вулканизации и выбора технологических режимов термообработки состоит в том, что все расчеты легко реализуются на ЭВМ. При этом достигается практически любая требуемая точность, которая определяется лишь объемом вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю.Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов / Ю.Р. Осипов. – М.: Машиностроение, 1995. – 232 с.
2. Осипов, Ю.Р. Процессы термической обработки гуммированных объектов и разработка методов их расчета / Ю.Р. Осипов // Дис. ... докт. техн. наук. – Иваново: ИГАСА, 1997. – 463 с.
3. Осипов, Ю.Р. Неразрушающий способ определения степени вулканизации обкладок резинометаллических изделий / Ю.Р. Осипов, А.А. Аваев // Заводская лаборатория, 1979 - №3 – С. 242-243

О ВЫБОРЕ ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С МИНИМАЛЬНЫМИ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ

С.Ю. Осипов

Россия, Тверской государственный технический университет

Ю.Р. Осипов, Н.А. Бормосов

Россия, Вологодский государственный университет

О.А. Панфилова

Россия, Вологодский институт права и экономики ФСИН России

Химическая промышленность является одной из материалоемких отраслей промышленного производства. Причем из всего потребляемого оборудования 65-70% занимает оборудование с дорогостоящей футеровкой штучными материалами, а 26-60% – оборудование из нержавеющей сталей и биметаллов. Защитные покрытия являются одним из эффективных средств снижения ущерба от коррозии в химической промышленности. Одновременно они являются эффективными заменителями дефицитных цветных металлов и сплавов, снижающими материа-

лоемкость оборудования и сооружений, что важно в решении общей производственной задачи – экономии металлов и материалов. Поэтому на современном этапе эффективность применения защитных покрытий и их правильный выбор имеют первостепенное значение. При оценке экономической эффективности применения защитных покрытий важное место отводится сроку их службы, который во многом определяет надежность и долговечность эксплуатации химического оборудования и сооружений. Кроме стоимости противокоррозионных покрытий и их долговечности, необходимо учитывать эксплуатационные расходы, (содержание и ремонт оборудования) и изменение производительности оборудования.

В связи с вышесказанным современная промышленность предъявляет высокие требования к антикоррозионной защите аппаратуры, которая эксплуатируется в условиях сильных агрессивных сред при повышенных температурах и давлениях [1, 2]. Гуммирование аппаратуры занимает особое положение вследствие того, что резина обладает комплексом технически полезных свойств: стойкостью к воздействию агрессивных сред, эластичностью, вибростойкостью, способностью выдерживать мощные гидродинамические удары, водо- и газонепроницаемостью, тепло- и морозостойкостью. Резинометаллические изделия традиционно изготавливаются на готовых металлических объектах, однако в настоящее время имеются возможности автоматизации изготовления широкой номенклатуры резинометаллических изделий.

Для выбора оптимального варианта алгоритма гуммирования необходимы критерии, с помощью которых можно было бы оценить алгоритмы как в количественном, так и качественном отношении. Предлагается метод, суть которого заключается в составлении топологической модели (ТП), в котором процесс гуммирования рассматривается как преобразование исходных элементов конструкции и материалов в готовое резинометаллическое изделие и представляется в виде ориентированного графа [2]. ТП автоматизированного технологического комплекса представляет собой цепь направленных преобразований, последовательно и параллельно выполняемых переходов и операций подачи материалов, обмера, отреза, наложения на металлическую подложку и других состояний (см. табл.). При этом цепь преобразований записывается в виде алгоритма

$$X_0^1 A_{1(1)} \wedge (X_1) A_{21} (X_2, \dots, X_{N-1}) A_{N-1} \wedge A_N X_N, \quad (1)$$

где A_1, \dots, A_N - дуги прямого направления, соответствующие операциям и переходам технологического процесса; X_0, \dots, X_N - вершины графа.

Графически эту цепь представим в виде однонаправленного ориентированного графа или системы уравнений

$$X_1 = A_{10}X_0; \quad X_2 = A_{21}X_1; \quad \dots; \quad X_N = A_{N.N-1}X_{N-1}. \quad (2)$$

Взяв за основу алгоритм (1) процесса гуммирования и уравнения (2) для математического описания модели технологического процесса, применим аппарат теории направленных функциональных графов.

Введем следующие обозначения для операторов сборки. Подготовка эластомерного покрытия: раскладка рулона резины на рабочем столе - $A_{12(1)}$, удаление прокладочной ткани - $A_{18.12}$, промывание бензином - $A_{24.18}$, промазка клеем - $A_{30.24}$, сушка первого слоя клея - $A_{36.30}$, промазка клеем - $A_{42.36}$, сушка второго слоя клея - $A_{48.42}$, промазка клеем - $A_{54.48}$, сушка третьего слоя клея - $A_{60.54}$, накладка листов резины один на другой промазанными клеем сторонами - $A_{66.60}$, прикатка дублировочным роликом - $A_{67.66}$, прокалывание образовавшихся пузырей и прикатка зубчатым роликом - $A_{68.67}$, укладка подготовленной обкладки на металлическую подложку - $A_{69.68}$.

Подготовка металлической подложки: установка рулона (катушки) металла - A_{10} , отгибка конца рулона - A_{21} , захват металла в валковую машину - A_{32} , правка в валковой машине - A_{43} , обезжиривание бензином - A_{54} , химическая очистка - A_{65} , очистка абразивно-порошковой смесью - A_{75} ; A_{76} , промывание бензином - A_{87} .

Холодное крепление эластомерного покрытия: промазка клеем - A_{98} , сушка первого слоя клея - $A_{10.9}$, промазка клеем - $A_{11.10}$, сушка второго слоя клея - $A_{69.11}$, прикатка покрытия к металлу - $A_{70.69}$.

Испытание покрытия до горячего крепления: выбор щупа-электрода - $A_{71.70}$, присоединение щупа-электрода к дефектоскопу - $A_{72.71}$, проверка исправности соединительного кабеля и разъема - $A_{73.72}$, заземление контролируемого изделия и проверка надежности заземления - $A_{74.73}$, подключение дефектоскопа, установление необходимого напряжения - $A_{75.74}$, равномерное перемещение щупа, прижатого к поверхности - $A_{76.75}$.

Горячее крепление эластомерного покрытия к металлу: помещение гуммируемого изделия в вулканизационный аппарат - $A_{77.76}$, опрессовка сжатым холодным воздухом - $A_{78.77}$, подача горячего воздуха в первую секцию ($T = 373 \text{ K}$) - $A_{79.78}$, выдержка изделия при $T = 373 \text{ K}$ - $A_{80.79}$, подача горячего воздуха во вторую секцию ($T = 393 \text{ K}$) - $A_{81.80}$, выдержка изделия при $T = 393 \text{ K}$ - $A_{82.81}$, подача горячего воздуха в третью секцию ($T = 413 \text{ K}$) - $A_{83.82}$, выдержка изделия при $T = 413 \text{ K}$ - $A_{84.83}$, охлаждение в четвертой секции ($T = 293 \text{ K}$) - $A_{85.84}$, извлечение из аппарата - $A_{86.85}$, контроль степени вулканизации покрытия оптическим ме-

тодом - $A_{87.86}$, контроль прочности крепления (на отрыв, сдвиг, расслаивание, отслаивание) - $A_{88.87}$.

Изготовление гуммированных изделий методом пластической деформации: резка на листы необходимых размеров - $A_{89.88}$, гибка-штамповка обрезанных листов - $A_{90.89}$, складирование - $A_{91.90}$.

Модель, построенная согласно алгоритму технологического процесса гуммирования без указания обратных технологических связей, называется характеристической. В нашем случае характеристическая модель отражает параллельный ввод на автоматизированной линии одного базового (металлической основы) и одного присоединяемого (эластомерного покрытия) сборочного компонентов и непосредственное их соединение в процессе вулканизации. Благодаря иерархическим свойствам модели ее можно расчленить на ряд композиционных моделей и рассматривать каждую отдельно.

В алгоритмической форме цепь преобразований можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} & X_0 A_{10} \wedge X_1 A_{21} \wedge X_2 A_{32} \wedge X_3 A_{43} \wedge X_4 A_{54} \vee [(X_5 A_{75}) \vee (X_5 A_{65} \wedge X_6 A_{76})] \wedge X_7 A_{87} \wedge \\ & \wedge X_8 A_{98} \wedge X_9 A_{10.9} \wedge X_{10} A_{11.10} \vee \{(X_{11} A_{69.11}) \vee [(X_0^1 A_{12(1)} \wedge X_{12} A_{18.12} \wedge \dots \wedge \\ & \wedge X_{60} A_{66.60}) \vee (X_0^1 A_{13(1)} \wedge X_{13} A_{19.13} \wedge \dots \wedge X_{61} A_{66.61}) \vee \dots \vee (X_0^1 A_{17(1)} \wedge X_{17} A_{23.17} \wedge \dots \wedge \\ & \wedge X_{65} A_{66.65})] \wedge X_{66} A_{67.66} \wedge X_{67} A_{68.67} \wedge X_{68} A_{69.68} \} \wedge X_{69} A_{70.69} \wedge X_{70} A_{71.70} \wedge \\ & \wedge X_{71} A_{72.71} \wedge X_{72} A_{73.72} \wedge X_{73} A_{74.73} \wedge X_{74} A_{75.76} \wedge X_{75} A_{76.75} \wedge X_{76} A_{77.76} \wedge X_{77} A_{78.77} \wedge \\ & \wedge X_{78} A_{79.78} \wedge X_{79} A_{80.79} \wedge X_{80} A_{81.80} \wedge X_{81} A_{82.81} \wedge X_{82} A_{83.82} \wedge X_{83} A_{84.83} \wedge X_{84} A_{85.84} \wedge \\ & \wedge X_{85} A_{86.85} \wedge X_{86} A_{87.86} \wedge X_{87} A_{88.87} \wedge X_{88} A_{89.88} \wedge X_{89} A_{90.89} \wedge X_{90} A_{91.90} = X_{91} \end{aligned}$$

В характеристической модели процесса гуммирования на первоначальном этапе проектирования не включены контуры, отражающие внецикловые потери, собственные потери из-за простоев механизмов по причинам поломки, износа деталей и т. п. В целях уточнения модели в нее введены все реальные контуры и связи, характеризующие реализацию упорядоченных элементарных операций с учетом потерь в реальных условиях, что позволяет сформировать топологическую модель изготовления в модель технологической системы.

Ориентированный функциональный граф модели процесса гуммирования в общем виде определяется системой алгебраических уравнений

$$X_j = \sum_{j=1}^m [A_{ji} X_i + a_{ij} X_j + a_{jj} X_j + A_j(j) X_0(j)],$$

где X_j , X_i , $X_0(j)$ - зависимые и независимые переменные системы уравнений; A_{ij} , a_{ij} , a_{jj} , $A_j(j)$ - коэффициенты системы уравнений, соответствующие взвешенным прямым и обратным дугам графа.

С помощью формулы Мэсона можно определить передаточную функцию непосредственно по виду графа, при этом исходная модель-граф с двумя истоками преобразуется к модели с одним истоком:

$$A_{ji} = \sum_{(k)} A_{\lambda k} L_{\lambda k} / L,$$

где $A_{\lambda k}$ - обобщенный оператор K -го пути от истока i к стоку j ; L - характеристический полином контуров (определитель) графа; $L_{\lambda k}$ - полином L контуров графа, не касающихся K -го пути.

Обобщенная передаточная функция технологического комплекса представляет собой произведение передаточных функций отдельных технологических линий:

$$A_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n A_i .$$

На стадии эскизного проекта с помощью обобщенной передаточной функции решается задача оценки производительности оборудования, для чего необходимо вычислить ее значение для каждого варианта автоматизированной линии по гуммированию. При этом при определении передаточной функции можно воспользоваться лишь прямыми связями.

В основу оптимального варианта автоматизированной линии положен ТП, обеспечивающий наименьшую стоимость гуммированных изделий при заданном их качестве. Стоимость выполнения конкретной операции является функцией длительности этой операции, стоимости создания средств автоматизации, коэффициента качества продукции при реализации операции, надежности процесса и устройства, а также поточности процесса.

Вводя понятие условного потенциала системы, имеющего размерность тыс. руб./(m^2 -ч) и являющегося критерием оптимальности варианта реализации, определяем величину затрат на изготовление $1 m^2$ гуммированных изделий при различных конструктивных решениях линии, отнесенную к ее производительности:

$$R = \sum_{\substack{\forall \\ ji \in \lambda}} r_{ji},$$

где R - условный потенциал системы; r_{ji} - приращение условного потенциала ji -й операции; λ - прямой путь потока преобразований.

Приращение условного потенциала ji -й технологической операции может быть определено по формуле:

$$r_{ji} = \frac{a_{ji}}{\tau_{ji}},$$

где a_{ji} - показатель сложности автоматизации j -й операции; τ_{ji} - коэффициент производительности, характеризующий степень непрерывности процесса и использования функционального механизма по времени.

Разработана программа, которая позволяет на основании топологической модели и параметров участка линии, являющихся исходными данными, рассчитать условные потенциалы как всей линии, так и ее элементов (с учетом брака, отказов и межоперационных накопителей).

Сравнение между собой вариантов альтернативных решений, связанных с конструктивной реализацией исходного технологического процесса, позволит выбрать вариант технологического комплекса с минимальным значением условного потенциала и повысить эффективность и качество автоматизированных линий для производства резино-металлических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю.Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов / Ю.Р. Осипов. – М.: Машиностроение, 1995. – 232 с.
2. Осипов, Ю.Р. Автоматизация технологических процессов гуммировочных производств / Ю.Р. Осипов, С.Ю. Загребин. – М.: Классик Прим, 2004. – 275 с.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И МИНИМАЛИЗАЦИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Н.В. Пеганов, Е.О. Сергеев, Ю.Р. Осипов

Россия, Вологодский государственный университет

Процессы технологической теплофизики очень широко распространены во всех областях промышленного производства. Большинство этих процессов являются энергоёмкими, что обуславливает высокую себестоимость изготавливаемой продукции, поэтому задача оптимизации этих процессов является на данный момент очень важной.

Базисом предлагаемого в работе метода построения взаимосвязанных иерархических структур проблемно-ориентированных математических моделей и адекватных постановок комплексных задач оптимального проектирования и управления процессами

технологической теплофизики является иерархическая структура локальных критериев оптимальности, полученная путём декомпозиции заданного глобального критерия. На верхнем уровне иерархии рассмотрим экономический критерий оценки жизненного цикла изделия - приведенный доход.

$$J_{\Gamma} = \sum_{j=1}^N [\Pi_j(\bar{a}_j, \bar{\beta}_j, \tau_{uj}) \cdot B_j(\bar{a}_j, \bar{\beta}_j, \tau_{uj}) - Z_{\Sigma j}(\bar{a}_j, \bar{\beta}_j, \tau_{uj})] - K_{kj}(\bar{a}_j, \bar{\beta}_j, \tau_{uj}) \cdot E_c,$$

где B_j - годовой объем выпуска продукции j - вида при общем количестве N - видов продукции в номенклатуре, реализуемой по цене Π_j ; $Z_{\Sigma j}$ - суммарные эксплуатационные затраты на ее производство; K_k - капитальные затраты при нормативном сроке их окупаемости E_c ; $\bar{a}_j, \bar{\beta}_j$ - обобщенные параметры, характеризующие эксплуатационные качества изделия и затраты ресурсов на его изготовление; τ_{uj} - продолжительность производственного цикла.

Декомпозиция глобального критерия J_{Γ} производится на основании анализа входящих в формулу (1) компонентов, который выявляет её экстремальный характер из-за сложного нелинейного характера её зависимости от параметров.

Условия роста прибыли, определяющие структуру декомпозиции глобального критерия J_{Γ} , формулируются в общем случае как условие его положительного градиента по компонентам $\bar{a}, \bar{\beta}, \tau_{uj}$

$$\frac{\partial J_{\Gamma}}{\partial \bar{a}} > 0; \frac{\partial J_{\Gamma}}{\partial \bar{\beta}} > 0; \frac{\partial J_{\Gamma}}{\partial \tau_{uj}} > 0. \quad (2)$$

Удовлетворение условиям (2) является необходимым, но не исчерпывающим компонентом методики декомпенсации. Для достижения максимальной производительности технологической линии, участка из 6 установок при минимальных издержках, обеспечивающих максимальное значение критерия (1) необходимо в соответствии с системными свойствами целостности и структурируемое рассматривать функциональный срез, включающий в качестве элементов оборудование соответствующей технологической цепи и позволяющий выделить в ней узкие места.

При соблюдении последнего из неравенств (2) максимум функционала (1) для технологической цепи в j -м производственном цикле достигается при выполнении соотношения (3).

$$\tau_{uj}^0 = \frac{\min}{\alpha \in \Omega_{j\alpha}} \max(\tau_{j\alpha-1}^0 + \tau_{j\alpha 1}; \tau_{j\alpha}^0 + \tau_{j\alpha 2}; \tau_{j\alpha+1}^0 + \tau_{j\alpha 3}), \alpha = \overline{1, S} \quad (3)$$

где τ_{uj}^0 - оптимальная продолжительность j -го производственного цикла; $\tau_{j\alpha 1}, \tau_{j\alpha 2}, \tau_{j\alpha 3}$ - фиксированное время подготовительно-вспомогательных

работ; τ_{j-1}^0 , τ_j^0 , τ_{j+1}^0 - минимально-возможная продолжительность предшествующей, исследуемой и последующей технологической операций как результат решения соответствующих задач оптимального быстрогодействия.

Эти задачи ставятся как задачи с подвижным правым концом траектории в области конечных состояний $\bar{\Omega}_j \in x_j(p, \tau_j^0)$, определяемой в том числе и допустимыми для последующей технологической операции начальными состояниями.

При этом область $\bar{\Omega}_j \in \bar{I}_j \cap \bar{G}_{j+1}$ является пересечением области \bar{I}_j , достижимых состояний для данной i -ой технологической операции и области \bar{G}_{j+1} , допустимых по требованиям $i+1$ -ой технологической операции состояний. Решение последовательности оптимальных задач на множестве $\bar{\Omega}_j$ для каждого i -го элемента технологической цепи, позволяет определить оптимальные множества конечных состояний в областях достижимости, а также выявить технологическое оборудование, которым целесообразно управлять по оптимальному по быстроддействию алгоритму. Для последующего и предыдущего оборудования, имеющего резервный ресурс времени, формулируется задача оптимизации эксплуатационных или ресурсных критериев при фиксированном времени.

В реальных процессах значительную часть производственного цикла I занимают переходные режимы, связанные с запуском после перерыва, сменой темпа работы предыдущего и последующего оборудования, переходом от одной партии обрабатываемых изделий к другой и т.п. В установках для мелкосерийных производств доля этих переходных режимов зачастую не меньше, чем установившихся, а с учетом суммарных затрат на потери, связанных как с неустранимым браком, так и с исправлением устранимого брака, а также с потерями производительности и простоями, оптимизация переходных режимов не менее существенна, чем установившихся. Наиболее остро эта проблема встает в случае использования в технологической цепи установок непрерывного или полунепрерывного действия. В этом случае вывод технологической цепи на стационарный режим может занимать несколько рабочих смен и требовать нетривиальных технических решений, например использования "балластных" заготовок.

Декомпозиции глобального критерия оптимальности J_g для переходных режимов приводит его к виду:

$$J_g = \alpha_1 \sum_{r=1}^{M_1} |\tau_r^* - \tau^0| + \alpha_2 \sum_{r=1}^{M_1} \|x_r(p, \tau_{Pr}) - x^0(p, \tau^0)\| + \alpha_3 \sum_{r=1}^{M_1} z_{Pr}, \quad (5)$$

где τ_r^* , τ_{Pr} , x_r - соответственно темп выдачи, конечный момент технологической операции и вектор состояний в переходном процессе; τ^0 , $x^0(p)$

- темп выдачи и результирующий вектор состояний в оптимальном стационарном режиме работы технологической цепочки; Z_{3r} - соответствующая часть эксплуатационных затрат Z_{3j} в (1); $M > M_1$ - общее число деталей в рассматриваемой партии; a_1, a_2, a_3 - весовые коэффициенты.

Первое слагаемое учитывает суммарную потерю темпа выдачи изделий технологической цепочки в переходном режиме, второе - представляет собой соответствующую оценку отклонения вектора состояний $X_0(p, \tau_{пр})$ в переходном режиме от его оптимального значения $X_0(p, \tau^0)$ в стационарном режиме, а третье слагаемое характеризует часть эксплуатационных затрат на возмещение переходного режима. В качестве предельных частных вариантов возможно условие выдачи в переходном режиме всех M_1 заготовок с удовлетворительными кондициями при допустимых экономических потерях за счет перевода второго и третьего слагаемых в состав ограничений $a_2 \approx a_3 \approx 0$. При этом получаем задачу на минимум суммарной потери темпа в переходных режимах. Такая задача характерна для обработки ответственных дорогостоящих деталей. В случаях, когда изменение темпа работы оборудования невозможно или нецелесообразно $a_1 = 0$ и $a_2 = 0$, задача сводится к оптимизации в переходных режимах отклонений выходных кондиций заготовок от оптимальных, что, естественно, приводит к некоторому их ухудшению на время переходного режима. Возможны и компромиссные решения при $a_1 \neq 0, a_2 \neq 0, a_3 \neq 0$.

Таким образом, использование метода построения взаимосвязанных иерархических структур критериев оптимальности при построении автоматических систем управления позволяет оптимизировать процессы технологической теплофизики, в частности индукционный нагрев, химико-термическая обработка, вулканизация гуммировочных покрытий и другие, в установившихся и переходных режимах как по технологическим, так и по экономическим параметрам, что является необходимым в условиях рыночной экономики и активного развития мелкосерийного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рапопорт, Э.Я. Минимизация расхода энергии при индукционном нагреве металла / Э.Я. Рапопорт, Л.С. Зимин, М.Ю. Лившиц // Чёрная металлургия № 8. 1988.- С.111-116.
2. Кисельгоф, Е.С. Многоуровневая распределенная АСУП химико-термической обработки деталей / Е.С. Кисельгоф, М. Ю. Лившиц, Литов-ченко А.Н., Уклейн Ю.А. // Приборы и системы управления. № 2. 1989. С.7-9.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ «ТОПЛИВНЫЙ БРИКЕТ – ТРАНСПОРТ – КОТЕЛЬНАЯ»

В.А. Петринчик, Н.В.Смирнова, А.С. Царев
Россия, Вологодский государственный университет

В каждом регионе имеются населенные пункты, которые удалены от пунктов распределения топливных ресурсов. Однако в таких населенных пунктах имеются собственные виды топлива – отходы деревообработки (опилки, обрезь, кора и т.д.). Простое сжигание этих отходов неэффективно с тепловой точки зрения (низкий КПД). Поэтому в настоящее время в мало населенных пунктах широко используются прессованные древесные отходы – пеллеты и топливные брикеты. Топливные брикеты — это экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3% пониженного влагосодержания. При сгорании не выделяют вредные вещества [1].

Топливные брикеты имеют ряд преимуществ перед традиционными видами топлива (уголь, дрова):

- высокая теплота сгорания (4,5-5,0 кВт·ч/кг);
- способность храниться достаточно долго;
- возможность осуществления транспортировки.

Этот вид топлива наиболее удобен по техническим, технологическим и экологическим параметрам для существующих котельных на твердом топливе. Но вместе с тем, использование топливных брикетов имеет ряд серьезных проблем:

- высокие температуры горения топливных брикетов приводят к прогоранию трубной решетки котлов;
- излишняя прочность топливных брикетов;
- дорогостоящее оборудование;
- энергозатратные технологии изготовления топливных брикетов.

Целью данной работы является разработка модели оптимизации системы «топливный брикет – транспорт – котельные».

Оптимизация системы осуществляется для конкретных населенных пунктов, в которых имеются известные котельные установки, расстояние до источника тепловой энергии, количество теплоты, которое выделяется при сжигании топлива, количество потребляемой тепловой энергии.

Решение этих проблем предполагается достигнуть одним из путей:

- проведение промышленного эксперимента в Вологодской области на котельных, где используются топливные брикеты;
- разработка способов и средств использования топливных брикетов и их дальнейшее патентование;
- разработка практических рекомендаций для специалистов Вологодской области.

Предложена простая экономико-математическая модель производства топливных брикетов, в которую наряду с физико-техническими свойствами входят экономические (зарплата, амортизация, ремонт, логистика).

Экономико-математическая модель позволяет:

- вычислить оптимальный состав исходного сырья по типу отходов (кора, опилка, обрезь и т.д.), вычислить плечо транспортировки, которое экономически выгодно;
- давать рекомендации по созданию новых производств, имеющие отходы с низкой влажностью (организация производств по глубокой переработке древесины);
- в зависимости от внешней конъюнктуры рассчитывать объем экспорта топливных брикетов;
- осуществлять выбор поселков (численность, объем производства древесины, теплоснабжение), где наиболее оптимально производство топливных брикетов.

Ожидаемые результаты:

- использование разработанных методик и патентов на территории как минимум Вологодской области (380 малых населенных пунктов);
- создание методики, позволяющей определить оптимальные системы использования топливных брикетов конкретных населенных пунктов;
- разработка рекомендаций по совершенствованию отдельных элементов системы;
- перевод большинства сельских поселений Вологодской области на местный вид топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Царев, А.С. Топливные брикеты как альтернативный вид местного топлива / А.С.Царев // Становление Молодой инновационной России. Перспективы и пути развития: материалы Региональной научно-практической on-line конференции / под ред. О.М. Голембиовской, И.А. Лагерева. – Брянск: БГТУ, 2012. – С.102-105

О КРИТЕРИЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

В.П. Полетаев, О.И. Микрюкова

Россия, Вологодский государственный университет

Среди элементов реализации комплексной стратегии интегрированной логистической поддержки различных технических систем важнейшим условием является наличие достаточной численности ремонтного персонала и необходимых по номенклатуре и количеству запасных элементов, составляющих основу системы восстановления работоспособности.

Отказы различных технических систем приводят к ряду отрицательных последствий, куда относятся: простой и невыполнение поставленных задач, затраты на создание резервного фонда, затраты непосредственно на ремонт и т.д. Тяжесть перечисленных последствий во многом зависит от длительности простоя, которая определяется способностью системы восстановления работоспособности в любой момент приступить к ремонту или удовлетворить потребность в запасном элементе, что особенно важно для автоматизированного производства, оснащенного высокопроизводительным оборудованием и приборами.

В связи со случайным характером возникновения отказов готовность системы восстановления работоспособности приступить к выполнению возложенных функций может быть оценена показателем, имеющим вероятностный смысл. Тогда исходное условие для определения численности ремонтного персонала будет иметь вид:

$$P_m \leq \gamma, \quad (1)$$

где P_m - вероятность того, что в любой момент времени все m ремонтников будут заняты; γ - установленный уровень вероятности P_m , являющейся критерием численности работающих.

Соответственно, для вероятности наличия свободного ремонтника P_c справедливо выражение:

$$P_c \geq 1 - \gamma.$$

По аналогии с (1) необходимый объем запаса элементов как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых находится из условия:

$$P_n \leq \gamma, \quad (2)$$

где P_n - вероятность отсутствия необходимой запасной части данного вида при объеме их комплекта, состоящего из n штук; γ - заданный уровень вероятности P_n , служащий критерием объема запаса.

При этом вероятность удовлетворения потребности в запасном элементе данного типа P_y связана с P_n соотношением

$$P_y \geq 1 - \gamma .$$

Нормированные значения P_m и P_n , которые по физическому смыслу представляют собой допустимые вероятности простоя объектов при недостатке ремонтников или запасных частей, зависят от характера и специфики производственного процесса, режима использования и особенностей процесса эксплуатации, последствий отказов и простоев технических систем. На практике наибольшее применение получило правило, согласно которому величину γ рекомендуется назначать из ряда значений 0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

Путем увеличения численности ремонтного персонала и запасных элементов можно добиться сколь угодно малого значения γ , однако такой подход становится экономически невыгодным. Отсюда возникает проблема оптимизации рассматриваемых задач с экономической точки зрения. При этом в качестве целевых функций предлагается использовать выражения для затрат на некоторый период эксплуатации T , связанных с наличием того или иного числа ремонтников и запасных элементов. В свою очередь, отмеченные затраты будут частью общих расходов на эксплуатацию технических систем.

Тогда в качестве экономического критерия, определяющего оптимальное число ремонтников, будут служить затраты на установленный период эксплуатации, например за год, обусловленные, с одной стороны, расходами на содержание m работающих, а с другой – потерями вследствие простоя объектов из-за недостаточной численности ремонтного персонала.

Затраты на содержание ремонтников прямо пропорциональны их числу m и составляют величину

$$C_m = C_o \cdot m ,$$

где C_o - средние затраты на содержание одного ремонтника.

Потери от простоев за время T при недостатке ремонтников можно определить по формуле:

$$C_n = C_{np} \cdot N_{np} \cdot T ,$$

где C_{np} - средние потери за единицу времени простоя объектов; N_{np} - среднее число простаивающих объектов при данном значении m .

В отличие от C_m составляющая C_n уменьшается с возрастанием m , следовательно, существует минимум функции суммарных затрат

$$C_p = C_m + C_n,$$

а условие оптимальности запишется как

$$C_p = C_o \cdot m + C_{np} \cdot N_{np} \cdot T \rightarrow \min. \quad (3)$$

Рассуждая аналогичным образом, условие оптимальности комплекта невосстанавливаемых запасных элементов данного типа можно представить соотношением:

$$C_3 = (C_{зз} + C_{пэ}) \cdot n + C_{np} \cdot P_n \cdot N \cdot T \rightarrow \min, \quad (4)$$

где C_3 - суммарные затраты за некоторый период эксплуатации T ; $C_{зз}$ - стоимость приобретения элемента данного типа; $C_{пэ}$ - стоимость ремонта системы при замене данного элемента; n - количество запасных элементов; C_{np} - потери за единицу времени простоя объекта; P_n - вероятность простоя объекта при объеме комплекта запасных частей, состоящего из n штук; N - количество находящихся в эксплуатации однотипных технических систем. Соответственно, для оборотного фонда восстанавливаемых элементов данного типа условие оптимальности имеет вид:

$$C_{нз} = C_{но} \cdot n_г + (C_{пэ} \cdot \bar{\Lambda} \cdot n_г + C_{np} \cdot N_{np}) \cdot T \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $C_{нз}$ - общие затраты за время T ; $C_{но}$ - стоимость приобретения и последующего хранения одного элемента; $n_г$ - объем запасного фонда восстанавливаемых элементов; $C_{пэ}$ - затраты на ремонт одного элемента после его отказа; $\bar{\Lambda}$ - параметр потока отказов, требующих замены элемента данного типа; C_{np} - средние потери за единицу времени простоя объекта; N_{np} - среднее число простаивающих объектов при объеме оборотного фонда запасных элементов, состоящего из $n_г$ штук.

Анализируя последние выражения, очевидно, что характер изменения их составляющих сохраняется таким же, как и в условии (3), но в отличие от него здесь дополнительно учтены затраты на ремонт.

Таким образом, обоснованы и математически определены критерии эффективности системы восстановления работоспособности.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕДЕНИЯ СПРАВОЧНИКОВ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО И БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИИ

А.М. Полянский, Е.А. Смирнова, А.А. Смирнов
Россия, Вологодский государственный университет

В инновационной рыночной экономике одним из необходимых инструментов, позволяющих производственным предприятиям получить конкурентные преимущества, является управленческий учет. Главным аргументом в пользу организации управленческого учета (УУ) является необходимость принятия оперативных управленческих решений в производстве и реализации продукции на основе получения требуемой информации в нужное время.

Одной из главных задач управленческого учета на производственном предприятии является организация трансферта операционных затрат на производство и реализацию продукции по центрам финансовой ответственности на базе информационно-аналитической системы, что позволит вести натуральный оперативный и стоимостной учет факторов производства и анализ узких мест [1, 3].

На практике производственные предприятия ведут автоматизированный бухгалтерский и управленческий учет в рамках одной или двух разных систем. В обоих случаях необходимо разработать модуль синхронизации данных бухгалтерского и управленческого учета, что обеспечит достоверный учет и анализ операционных затрат по первичным документам.

Исследуем проблему подробнее на примере справочников материалов и комплектующих изделий. В рамках системы бухгалтерского учета (БУ) (или области системы, отвечающей за бухгалтерский учет, в случае ведения единой учетной системы) названия материалов и комплектующих формируются по наименованиям в товарных накладных, а в системе управленческого учета – по конструкторской или технологической документации. Понятие «элемент А» (наименование материалов и комплектующих, деталей сборочных узлов, изготавливаемых по кооперации), используемое в системе УУ, в системе БУ может быть представлено как множество понятий-синонимов «элемент А1» ... «элемент АN». Они прошли под такими наименованиями по товарным накладным различных поставщиков, но по своей сути и роли в системе предприятия все являются «элементом А». В итоге когда бухгалтер передает данные о стоимости материалов и комплектующих по первичным документам специалисту, ведущему учет и анализ операционных затрат, возникает

ситуация неопределенности соответствия данных систем бухгалтерского и управленческого учета (табл. 1).

Таблица 1

**Пример ситуации неопределенности соответствия данных
учетных систем**

Система учета	БУ	УУ
Документ	Товарная накладная	Конструкторская документация
Наименование материала А1	Шайба гровер М7	Шайба пружинная М7 Гост 6402-70
Наименование материала А2	Шайба М7	

Решением этой проблемы может быть использование программного модуля-перекодировщика, который переводит идентификаторы объектов в одной учетной системе в соответствующие идентификаторы в другой. Стоит отметить, что если производить перекодировку без сохранения информации об объекте из изначальной учетной системы (рис. 1), то такой перевод будет являться однонаправленным: из системы бухгалтерского учета в систему управленческого учета, так как объем знаний об объекте сокращается. Впрочем, этот поток можно направить в обоих направлениях, если производить перекодировку с сохранением исходных данных (рис. 2). То есть при входе в другую систему у объекта изменяются необходимые атрибуты, которые будут учитываться данной системой и не будут учитываться другой. Достоинство данного подхода – сохранение обратной связи с системой бухгалтерского учета, что может быть полезным при возникновении спорных вопросов учета данных в системах и при передаче их обратно. Кроме того, учёт первичных и вторичных атрибутов объекта позволит в принципе идентифицировать поставщиков любого материала/комплектующего в любом конкретном изделии. Недостатком такого подхода является увеличение объема хранимой и обрабатываемой информации, что при современной вычислительной мощности даже настольного ПК не критично.

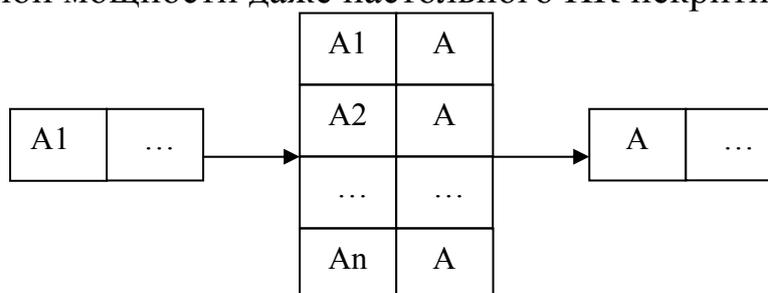


Рис. 1. Перекодировка без сохранения

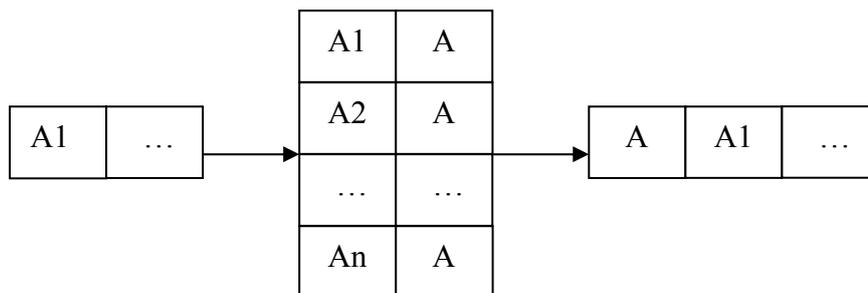


Рис. 2. Перекодировка с сохранением

Далее встает вопрос о точке перекодировки объекта: в рамках системы бухгалтерского или управленческого учета. Ввести перекодировку прямо в систему бухгалтерского учета нельзя, так как это противоречит правилам бухгалтерии — обеспечению точного соответствия записей первичным учётным документам. В этом случае необходимо вводить перекодировку с сохранением первичных данных. Такое решение требует внесения изменений в учётную политику и систему бухгалтерского учета, а поскольку на предприятии, как правило, уже сложились традиции бухучёта, закуплено и эксплуатируется необходимое программное обеспечение, эти изменения маловероятны.

Внедрить модуль перекодировки в систему управленческого учета проще. Многие предприятия находятся сейчас в процессе внедрения таких систем, в то время как системы бухгалтерского учета функционируют уже не один год. Кроме того, в систему управленческого учета можно внедрить модуль перекодировки без функции сохранения атрибутов первичной учётной информации из системы бухгалтерского учёта. Случаи обратной передачи данных из системы управленческого учета в систему бухгалтерского редки. Поэтому хранить данные об атрибутах объекта системы бухгалтерского учета в системе управленческого чаще всего ненужно.

Работу с модулем перекодировки справочников необходимо возложить на компетентных лиц, сведущих в атрибутах объектов как в системе бухгалтерского учета, так и в системе управленческого [2]. В этой роли для рассмотренного примера может выступать специалист службы материально-технического снабжения предприятия. Он представляет данные в систему управленческого учета при заказе материалов на основе конструкторской и технологической документации, а при получении материалов и накладных на них добавляет наименования элементов как зависимые от изначально внесенного названия. Он может прописывать связи названий как в момент получения накладной, так и в момент синхронизации данных. В итоге в системе управленческого учета образуются иерархические справочники связанных имен элементов. При следующем импорте данных из системы бухгалтерского учета «знако-

мые» имена уже не вызовут конфликтов и будут представлены управленцу в привычном для него виде.

Рассмотрев достоинства и недостатки различных подходов к процессу синхронизации справочников, создадим его вербальную модель, используемую в будущем в ходе проектирования автоматизированной системы управленческого учета на предприятии. Синхронизация справочников происходит путем перекодировки с сохранением первичных атрибутов в системе управленческого учета. Справочник необходимых объектов выгружается из системы бухгалтерского учета. При загрузке данных об объекте в систему управленческого учета происходит перекодирование с сохранением. Процесс перекодирования будет отслеживаться специалистом службы материально-технического снабжения. При первичной загрузке все объекты «незнакомы» системе управленческого учета. Поэтому возникают сообщения о конфликтах. Каждому объекту присваивается идентификатор: специалист выбирает из списка (или создает новый) объект, существующий в рамках системы управленческого учета, и устанавливает связь один (объект управленческого учета) ко многим (объект бухгалтерского учета). Далее объекты функционируют в системе управленческого учета без ошибок. В следующем процессе перекодирования часть объектов уже знакома системе (в нашем случае по наименованиям) и не вызывает конфликтов. Оставшуюся часть специалист обрабатывает так же, как и в первом случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аврова, И.А. Управленческий учет / И.А. Аврова. - М.: Бератор-паблишинг, 2007. – 324 с.
2. Полянский, А.М. Отображение компетенций субъектов в архитектурной модели информационной системы / А.М. Полянский // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. - 2011. – №4 (16). – с. 131-141.
3. Шичков, А.Н. Ситуационный анализ рыночного уклада в муниципальном округе (районе): монография / А.Н. Шичков. - Вологда: ВоГТУ, 2013. - 207 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКИ

А.В. Разживин, Е.В. Бережная

*Украина, Донбасская государственная машиностроительная академия,
г. Краматорск*

Процесс электроконтактной наплавки, применяемый для восстановления изношенных поверхностей деталей машин, характеризуется кратковременным нагревом материала и силовым активированием его поверхности. При высоких скоростях нагрева происходит практически мгновенный локальный разогрев контактных участков частиц. Ввиду кратковременности действия тепловых источников частица не успевает прогреваться полностью, к тому же при силовом активировании, технологически выполняемом посредством прокатываемого роликового электрода, приложение активирующего давления также носит кратковременный характер, причем факторы силового и температурного активирования действуют несинхронно: к моменту, когда тепло от контактных участков распространяется по всему объему частицы, факторы силового активирования минуют свой пик. Поэтому при подобной схеме действия и взаимосвязи факторов температурного и силового активирования исключительно важным представляется автоматическое регулирование указанных параметров процесса с помощью автоматизированной системы управления режимом электроконтактной наплавки (АСУ РЭН).

Разработка системы управления режимом электроконтактной наплавки предполагает адаптивное управление технологическим процессом с целью компенсации возмущающих воздействий (тепловых потерь) и вариации параметров объекта (состава наплавочного материала, металла детали). Синтез системы автоматизации целесообразно проводить с использованием математической модели объекта. Однако следует учесть, что модель объекта является упрощенной, так как в ней не учтены влияния ряда случайных факторов теплового режима электроконтактной наплавки:

- технологические тепловые потери, вызванные отведением тепла в деталь;
- технологические потери тока наплавки, обусловленные электропроводностью детали;
- химические превращения в процессе наплавки;
- аппаратные задержки.

Обеспечение соответствия создаваемых АСУ предъявляемым требованиям, включая их адаптивные свойства при случайных возмущениях, предполагает разработку и использование нетривиальных законов

управления. Перспективные пути решения этой проблемы связаны с комплексным применением современных интеллектуальных технологий для создания принципиально нового поколения систем автоматизации сложными динамическими объектами.

Развитие этого направления позволяет создавать универсальные, высокоточные, быстродействующие и экономичные АСУ различного назначения. В таких системах сочетаются основные достоинства современных технологий информационного обеспечения:

- возможность работы с базами данных, позволяющими объяснять принимаемые решения;
- способность к обучению и корректировке знаний;
- массивно-параллельная обработка сигналов и, как следствие, высокое быстродействие;
- высокая отказоустойчивость.

Практическое применение интеллектуальной технологии нейросетевого регулирования позволит разработать регулятор, обладающий высокими адаптивными свойствами и большой функциональной гибкостью. Высокую эффективность работы регулятора предполагается достичь путем использования алгоритма оценки возмущающих воздействий и обоснованного выбора информации из базы знаний. Для решения задачи адаптации математической модели к особенностям технологического процесса электроконтактной наплавки компактного и эффективного управления процессом по заданному режиму целесообразно применение нейронного регулятора.

При построении нейрорегулятора возможно применение уже известных методов синтеза нейронных сетей (НС). Нейронные сети можно подразделить на три основных вида (типа) по методам их обучения: сети Кохонена с обучением «без учителя»; динамические сети Хопфилда с обучением по методу последовательного подкрепления знаний; сети прямого и обратного распространения.

Алгоритм обучения нейронной сети задается набором обучающих правил. Обучающие правила определяют, каким образом изменяются межнейронные связи в ответ на входное воздействие. Существует несколько правил обучения НС: обратного распространения ошибки, квазиньютоновские методы, различные градиентные методы и т.д. Простейший способ обучения нейронной сети – поочередно изменять коэффициенты сети (вес связи) таким образом, чтобы оптимизировать критерий качества работы сети (среднеквадратичное отклонение). Этот способ является малоэффективным. Более эффективным способом настройки сети является определение градиента ошибки по весам связей. По этому способу все веса изменяются сразу на величину, пропорцио-

нальную соответствующей производной. Одним из известных алгоритмов, позволяющих вычислить градиент ошибки, является алгоритм обратного распространения ошибки.

В настоящее время имеется несколько подходов для построения нейроконтроллеров на базе многослойной НС прямого и обратного распространения. Все они представляют собой последовательную или параллельную схему нейроруправления. Для разрабатываемой АСУ РЭН наиболее подходящей является последовательная схема включения нейрорегулятора. Данная схема стала уже традиционной при построении систем управления на базе нейронных сетей и основывается на предварительном обучении. Обучение проводится на множестве соотношений вход-выход объекта, полученных при проведении эксперимента на объекте и его модели. Задачей использования нейронного регулятора является выдача скорректированного управляющего входного сигнала (силы тока наплавки), полученного из базы данных (знаний). Данная задача решается путем обучения НС на примерах из обучающего множества. Критерием обучения является среднеквадратичная ошибка обучения E .

Для получения ошибки обобщения и оценке времени прогнозирования поведения объекта управления необходима адаптация НС по тестовой выборке. В этом случае вычисляемая ошибка E будет внешним критерием, позволяющим оценить время прогнозирования по ошибке моделирования (скорости нагрева металла). В связи с этим можно сформулировать следующие требования к функционированию нейрорегулятора температурного режима:

- нейрорегулятор должен задавать силу тока наплавки электроконтактной машины с учетом усилия на ролике-электроде и времени импульса тока наплавки;
- нейрорегулятор должен сформировать сигнал коррекции управляющего воздействия с учетом величины тепловых потерь в процессе электроконтактной наплавки.

Таким образом, для синтезируемой АСУ РЭН предлагается ввести последовательное включение программного и нейронного регулятора, что позволит адаптировать систему управления к изменяющимся величинам тепловых потерь и параметрам режима электроконтактной наплавки. Применение математических моделей процесса электроконтактной наплавки позволит при построении АСУ РЭН, а также применение метода адаптивного управления технологическим процессом позволит скомпенсировать возмущающие действия тепловых потерь и учесть вариации параметров объекта, что обеспечит высокую стабильность процесса электроконтактной наплавки.

СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

В.А. Раков

Россия, Вологодский государственный университет

Состояние инфраструктуры обслуживания гибридных автомобилей в России характеризуется слабым развитием технической базы, малым количеством станций технического обслуживания, специализирующихся на обслуживании и ремонте гибридных силовых установок (ГСУ).

Диагностирование технического состояния и поиск неисправностей, автомобилей с ГСУ в настоящее время затруднено и выполняется методом поэлементной проверки, что увеличивает трудозатраты и усложняет процесс диагностирования. Недостаточный уровень достоверности при постановке диагноза приводит к ошибкам во время ремонта и повреждению дорогостоящих элементов гибридного привода. Ремонтные работы усложняются из-за отсутствия необходимого диагностического оборудования.

Основным средством технического диагностирования (СТД) гибридных силовых установок автомобилей, как и любого современного автомобиля, является бортовая система диагностирования, диагностический сканер для считывания информации о неисправностях и текущих значениях параметров элементов ГСУ.

При разработке полноценного поста для обслуживания автомобилей с ГСУ должны быть учтены особенности диагностирования узлов ГСУ (таких, как электромоторы, инверторы, высоковольтные накопители энергии, трансмиссия, электронная система управления).

Для диагностики технического состояния ГСУ ранее был предложена методика выездных испытаний по заданному циклу [1]. Методика базируется на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля, определении выходных параметров и сравнении их количественных значений с эталонными, полученными расчётным путём. Диагностирование проводится непосредственно в процессе работы автомобиля или с использованием стенда с беговыми барабанами.

СТД используемые на автомобиле в движении являются переносными. В соответствии с ГОСТ 25176-82 к ним предъявляются следующие требования: электропитание СТД должно осуществляться от источников постоянного тока напряжением 12 и 24 В; масса оборудования – не более 25 кг.

СТД для диагностирования отдельных элементов ГСУ.

Вольтметр, омметр, бесконтактный датчик тока в цепи, прибор для измерения внутреннего сопротивления источников тока, прибор для измерения ёмкости элементов и секций ВВБ, многоканальный осциллограф, зарядное устройство для ВВБ.

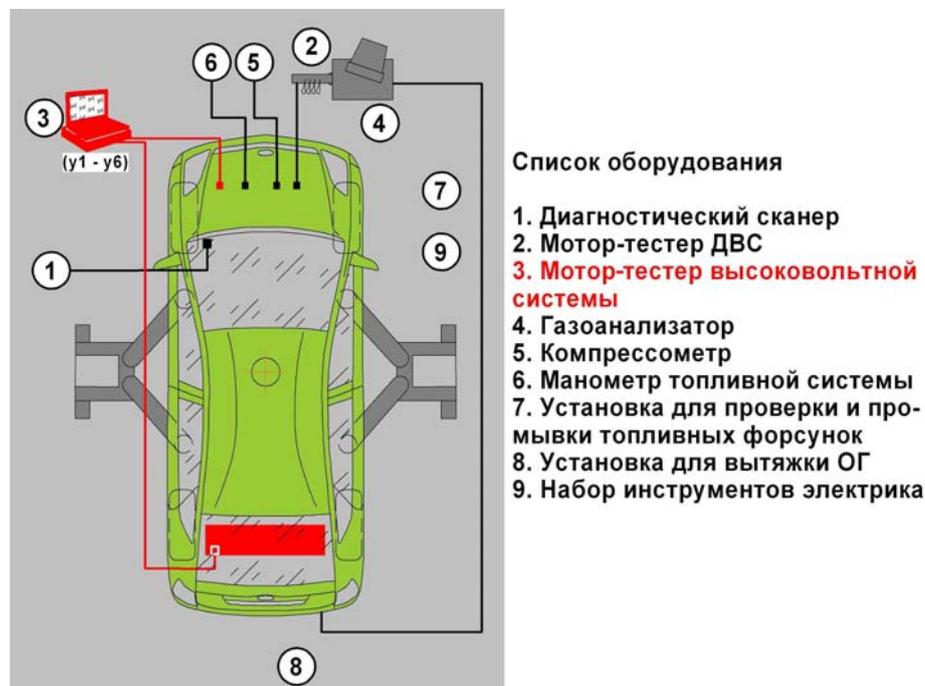


Рис. 1. Схема поста диагностики ГСУ

При проведении диагностических и ремонтных работ на станциях технического обслуживания решающим фактором является быстрота и правильность проведения работ. Для этих целей может быть использована разработанная методики.

Экспериментальные исследования были произведены на лабораторной установке, к которой был подключен ряд датчиков, измеряющих энергетические параметры; на практике это может быть затруднено. Для этих целей был исследован электропривод автомобиля Тойота Приус, составляющего основу большей части парка автомобилей с ГСУ в РФ на данный момент.

Разработанная методика рекомендована при проведении работ по определению технического состояния автомобиля с ГСУ, в результате составлена блок-схема дерева определения неисправности с использованием данной методики (рис. 2).

Сервисный бюллетень на обслуживание автомобилей предусматривает проведение диагностических проверок и выявление неисправностей, при этом учитывается перечень заявленных владельцем работы. Диагностика предполагает выявление неисправностей на раннем этапе,

что позволит избежать наступления отказа во время эксплуатации и более серьезных неисправностей.

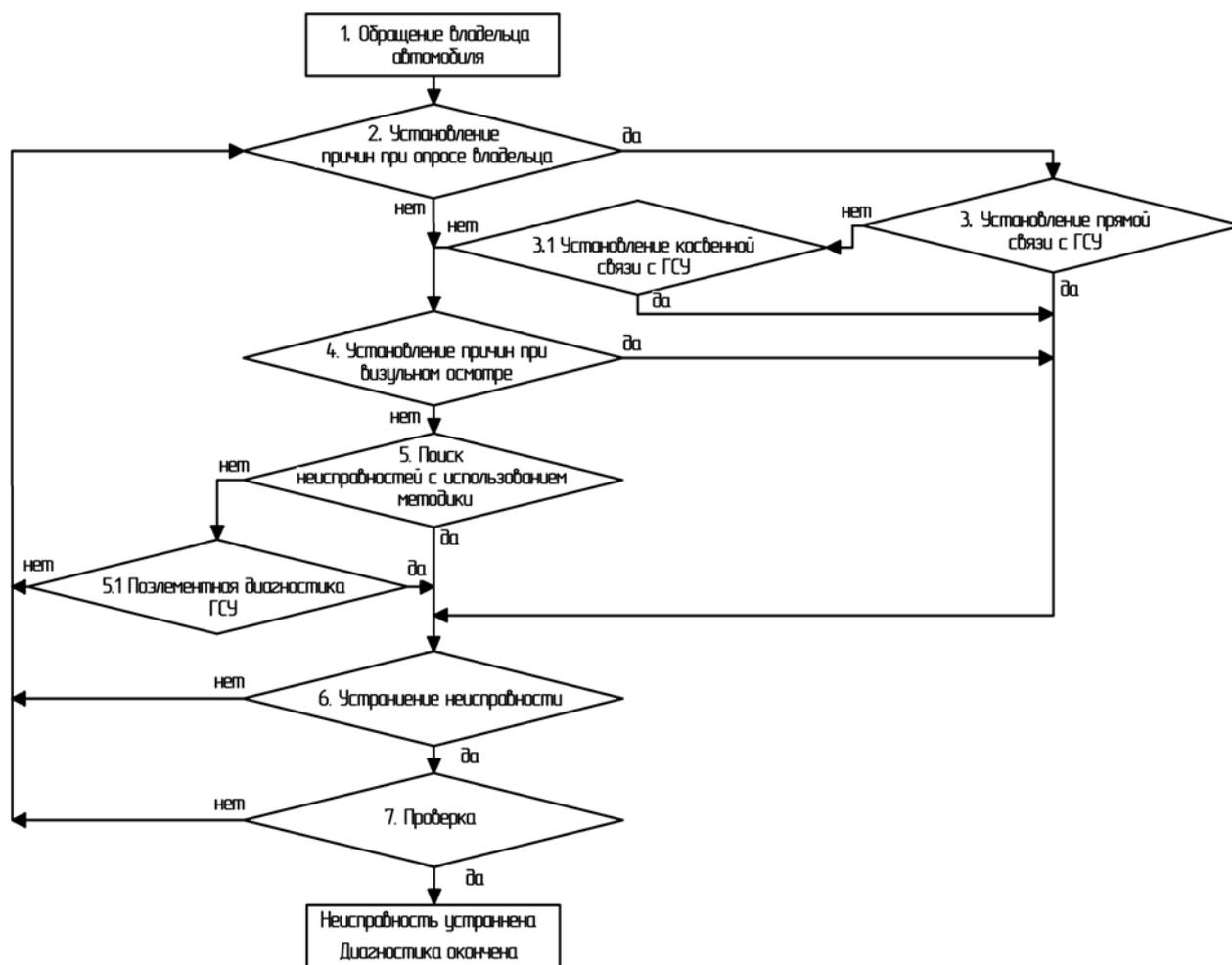


Рис. 2. Блок-схема определения неисправности при использовании методики

Описание алгоритма поиска неисправностей при обращении владельца автомобиля представлено ниже.

1. Обращение владельца автомобиля. Осуществляется мастером-приёмщиком. Владелец автомобиля указывает перечень неисправностей в заказ-наряде.

2. Установка неисправности при опросе владельца.

Как характеризуется неисправность, условия её появления?

Какие воздействия на автомобиль происходили до появления неисправности?

Это может быть предшествующий ремонт, установка дополнительного оборудования, авария, мойка, условия эксплуатации.

Какова периодичность проявления неисправности?

3. Установка прямых и косвенных связей с работой ГСУ.

Инженер-диагност логическим путём определяет прямую связь жалобы владельца с неисправностью ГСУ. При отсутствии прямых связей устанавливаются косвенные, не относящиеся на прямую к ГСУ.

Установка косвенных связей с другими узлами. Например, шины напрямую не связаны с работой ГСУ, но низкое давление воздуха может увеличить расход топлива.

4. Установка неисправности при визуальном осмотре. Замер уровня заряда ВВБ и АКБ. Внешний осмотр ДВС, уровня масла в агрегатах, наличие повреждений.

Считывание кодов неисправности блока управления ГСУ.

Замер СО, НС, NO. выпускных газов двигателя (требования согласно техническому регламенту, предъявляемые к автомобилям с 3-х компонентным катализатором).

5. Поиск неисправностей с использованием методики. Комплекс мероприятий включает в себя следующие работы:

- регулировка давления воздуха в шинах;
- подключение диагностического сканера;
- прогрев ДВС до рабочей температуры;
- подключение датчика тока и напряжения на силовую цепь ВВБ (рис. 36);
- подключение датчика тока и напряжения на шину постоянного тока инвертора МГ1, МГ2 (рис. 38) (только для углублённого способа оценки);
- подключение датчика скорости автомобиля;
- подключение измерительной системы;
- запись загрузки автомобиля (число дополнительных пассажиров и груза с точностью ± 20 кг);
- пробный выезд на испытуемом участке или испытание на стенде тяговых качеств [62]. Во время испытания записывается мгновенная скорость и показания датчиков тока и напряжения;
- после испытаний данные заносятся в программу анализа результатов.

Процесс записи данных контролируется с помощью диалогового окна L-Graph (рис. 39). При проведении испытаний инженер-диагност визуально может контролировать работу элементов электропривода. Например, провалы в цепочке заряда ДВС→МГ1→Ин, как показано на рисунке 38. Аналогичным образом возможно контролировать другие параметры работы привода: давление в системе подачи топлива, состав выпускных газов, мгновенный расход топлива и т.д.

6. Анализ полученных результатов

Результаты диагноза, поставленные логическим устройством, отображаются на мониторе или отправляются для печати на принтер.

При расхождении $\Delta \leq 5\%$ состояние ГСУ удовлетворительное. При расхождении $\Delta \geq 5\%$ производится диагностирование конкретного узла. Заниженная мощность ВВБ ($N_{ВВБ}$) говорит о её неисправности, завышенная $N_{ВВБ}$ говорит о неисправности ДВС, и недозаряд ВВБ свидетельствует о неисправности ДВС.

7. Причина обращения найдена. На любом из этапов проведения диагностики причина обращения может быть найдена.

8. Устранение. Инженер-диагност принимает решение о проведении ремонта, при необходимости ставит в известность мастера.

9. Контрольная проверка. После завершения ремонта мастер смены проверяет техническое состояние автомобиля после ремонта.

Таким образом, предложенная методика позволяет исключить процесс поэлементного поиска неисправностей в условиях отсутствия дорогостоящего специализированного диагностического оборудования, что позволит сэкономить время на поиск неисправностей ГСУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раков, В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дис. ...канд. техн. наук / В.А. Раков. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. - 169 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ПО ЦИКЛУ ДВИЖЕНИЯ P-1.0

В.А. Раков

Россия, Вологодский государственный университет

Целью данного теоретического исследования является сравнение основных технико-экономических показателей движения автомобилей с гибридными силовыми установками (ГСУ) различных типов.

В испытаниях участвовали ГСУ смешанной схемы (full hybrid) основным представителем которой является автомобиль Toyota Prius и ГСУ параллельной схемы (mild hybrid), устанавливаемую на автомобили Honda Civic и Honda Insight.

В испытании использован цикл движения с равномерным разгоном до скорости 90 км/ч и плавным торможением до полной остановки, обозначенный автором как «P-1.0». Общая продолжительность цикла

248 секунд, средняя скорость движения 45 км/ч. Параметры автомобиля в обоих ГСУ (вес, коэффициент обтекаемости и трения качения) для адекватности сравнения приняты одинаковыми.

Моделирование выполнено по программе ГСУ-АВТО [1].

Задачами исследования является:

- определение мощности двигателя внутреннего сгорания;
- определение необходимой емкости накопителя энергии;
- установление расхода топлива автомобилем с заданным типом ГСУ на испытываемом участке;
- сопоставление полученных результатов;
- разработка рекомендаций по применению ГСУ в данных условиях эксплуатации.

Исходными данными по ТС являются: масса (m), кг; коэффициент сопротивления качению (f_a); коэффициент обтекаемости (k_v); площадь Миделя (F), m^2 ; коэффициент учёта вращающихся масс (k_m).

При вычислении N_2 (принятой в качестве эталонной зависимости) учитываются изменяющиеся параметры: фактический уровень заряда батареи; количество энергии, поступающей от ДВС; количество энергии, забираемой на движение и принимаемой от рекуперации торможения.

Потери в элементах ГСУ при передаче энергии от ДВС на ведущие колеса автомобиля находятся в результате декомпозиции потока мощности на отдельные цепочки:

- цепочка N_1 – мощность от ДВС преобразуется в МГ1 в электрическую, затем через инверторы Ин1,2 расходуется на движение с помощью МГ2;
- цепочка N_2 – мощность от ДВС преобразуется в МГ1 в электрическую, затем расходуется на заряд батареи, откуда при необходимости подается на МГ2, где преобразуется в механическую и поступает на колеса автомобиля;
- цепочка N_3 – мощность от ДВС передается на колеса автомобиля через водило планетарной передачи, коронное зубчатое колесо и редуктор;
- цепочка N_4 возникает при торможении автомобиля, когда энергия передается от ведущих колес через редуктор на МГ2, инвертор Ин2 и накапливается в высоковольтной батарее.

Мощность в цепочке N_1 (рис. 1)

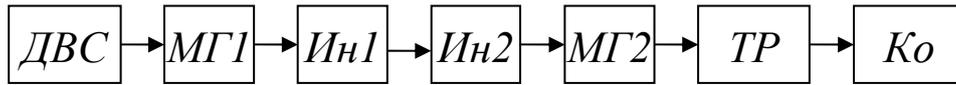


Рис. 1. Блок-схема потока мощности в цепочке N_1 , где ДВС – двигатель внутреннего сгорания; МГ1, МГ2 – электромоторы - генераторы; Ин1, Ин2 – инверторы управления электромоторами; ТР – трансмиссия; Ко – колесо

Мощность, передаваемая по первой цепочке, равна $N_{ГCV.i}$ за вычетом переданной через накопитель энергии, с учетом потерь в приводе

$$N_1 = \frac{0,28 (N_{ГCV.i} - N_{НЭ.СР})}{\eta_{МГ1} \times \eta_{Ин}^2 \times \eta_{МГ2} \times \eta_{ТР}}, \text{ кВт},$$

где $\eta_{МГ1}, \eta_{МГ2}$ – КПД в первом и втором МГ, $\eta_{Ин}$ – КПД инвертора, $\eta_{ТР}$ – КПД трансмиссии.

Мощность в цепочке N_2 (рис. 2)

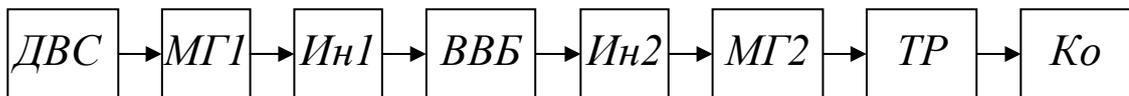


Рис. 2. Блок-схема потока мощности в цепочке N_2

Средняя мощность пиков $N_{НЭ.СР}$ является средней мощностью, проходящей через накопитель за время движения на испытуемом участке:

$$N_{НЭ.СР} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{ГCV.i} - N_{ГCV.СР})}{n}, \text{ кВт (сумма, если } N_i - N_{СР} > 0)$$

с учетом КПД каждого из элементов привода

$$N_2 = \frac{N_{НЭ.СР}}{\eta_{Г} \times \eta_{Ин}^2 \times \eta_{ВВБ} \times \eta_{МГ2} \times \eta_{ТР}}, \text{ кВт},$$

где $N_{ВВБ}$ – КПД накопителя энергии.

Мощность в цепочке N_3 (рис. 3)

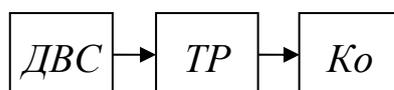


Рис. 3. Блок-схема потока мощности в цепочке N_3

Потери мощности в данном случае складываются только из потерь в трансмиссии η_{TP} :

$$N_3 = \frac{0,72 (N_{ГСУ,i} - N_{НЭ.СР})}{\eta_{TP}}, \text{ кВт.}$$

Мощность в цепочке N_4 (рис. 4)

Часть энергии торможения возвращается в накопитель, после чего повторно расходуется на движение. Поток мощности в этом случае передается по следующей цепочке:



Рис. 4. Блок-схема цепочки мощности в цепочке N_4

Мощность, возвращаемая благодаря рекуперации, с учетом потерь:

$$N_4 = N_{Т.СР} \times \eta_p \times \eta_{Ko} \times \eta_{TP} \times \eta_{МГ2} \times \eta_{Ин.} \times \eta_{ВВБ}, \text{ кВт,}$$

где η_p – КПД рекуперации.

На рисунке 5 представлена характеристика изменения скорости на участке.



Рис. 5. Характеристика изменения скорости движения на маршруте

ГСУ-АВТО. Результаты энергетического расчёта

Параметр	ГСУ-1	ГСУ-2
	2	3
1		
Нпр.ср, кВт	2,66	5,13
Коэффициент использования двигателя, К	1,0	1,0
КПД генератора η_g	0,88	0,9
КПД инвертора, $\eta_{ин.}$	0,95	0,98
КПД электродвигателя, $\eta_э.$	0,88	0,9

Окончание

КПД накопителя энергии, $\eta_{нэ}$.	0,8	0,8
КПД трансмиссии $\eta_{тр}$.	0,92	0,9
КПД рекуперации, $\eta_{р}$.	0,5	0,6
N1, кВт	3,93	5,7
N2,3 кВт	4,712	4,47
N4, кВт	0,051	0,073
N _{двс.макс.} , кВт	9,391	10,897
N _{эл.дв.ном.} , кВт	15,367	9,469
Расчётный коэффициент неравномерности нагрузки	3,819	3,819
Начальная энергия в накопителе, кДж	351	170
Максимальная энергия в накопителе (0-авто, 1-ручн.)	1	1
задать, если ручн., кДж	461	350
Максимальная энергия накопителя если авто., кДж	461	350
Режим работы ДВС (0-постоянно вкл., 1- полуавтомат.)	1	1
КПД заряда накопителя	0,704	0,706
КПД цепи потребления накопителя	0,769	0,794
КПД цепи при рекуперации энергии в накопитель	0,277	0,381
КПД прямого привода	0,92	0,9
Удельный расход топлива ДВС, (l) л/кВт*ч	0,316	0,316
Расход в л/100км	3,922	4,746

Исходя из результатов расчета установлено:

- необходимая мощность ДВС на испытуемом участке ГСУ смешанной схемы составляет 9,391 кВт, ГСУ параллельной схемы 10,897 кВт;
- максимальная запасаемая энергия накопителя ГСУ смешанной схемы – 461 кДж, ГСУ последовательной схемы – 350 кДж;
- расход топлива транспортного средства в заданном цикле движения с ГСУ смешанной схемы 3,92 л/100 км, ГСУ параллельной схемы 4,75 л/100 км.

Особенностью заданного участка является длительное потребление мощности и длительные разгоны с небольшими участками остановки и равномерного движения. В ТС с параллельной схемой ГСУ электродвигатель выступает в роли ассистента, т.е. работает только вместе с ДВС, в ГСУ со смешанной схемой электродвигатель может работать отдельно от ДВС. Это принципиальное отличие позволяет ТС двигаться с отключенным ДВС, экономя на 21% больше топлива. С точки зрения конструктивных особенностей, ГСУ со смешанной схемой будет дороже из-за большей емкости накопителя энергии. При эксплуатации авто-

мобиля в условиях длительных разгонов и торможений ГСУ смешанного типа обладает большей экономичностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регистрационная карта: инв. № 50201001370. Автоматизированный расчет оптимальных параметров гибридных силовых установок транспортных средств с последовательной и параллельной схемой расположения элементов: программа ГСУ-АВТО. – ИКАП / В.А. Раков – №И100616190121; дата регистрации 10.08.10. – М.: ВНИИЦ, 2010. – 2 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

В.А. Раков

Россия, Вологодский государственный университет

Проведение исследований гибридных силовых установок (ГСУ) автомобилей сопряжено с необходимостью проведения их испытания в условиях исследовательской лаборатории. Для этих целей специалистами Вологодского государственного технического университета изготовлена лабораторная макетная ГСУ.

Основными компонентами ГСУ являются: ДВС; тяговый асинхронный электромотор-генератор (МГ1); синхронный генератор (Г1), частотный преобразователь для управления электромотором (ЧП); устройство распределения мощности (УРМ), узел нагрузки (УН); высоковольтная батарея (ВВБ). На рисунке 1 представлена кинематическая схема привода [1].

Экспериментальная установка и способы исследования позволяют проводить исследовательскую работу по изучению и оптимизации процессов рекуперации. Процесс рекуперации позволяет возвращать часть кинетической энергии движения автомобиля, тем самым повысить энергетическую эффективность привода. Теоретическое обоснование влияния рекуперации на энергетический КПД описано в научной литературе [2].

В экспериментальной ГСУ применяются сверхвысокоёмкие конденсаторные накопители 200ПП-28/026 со следующими техническими характеристиками: номинальное напряжение – 200 В, электрическая ёмкость – 1,4 Ф, запасаемая электрическая энергия при номинальном напряжении – 28 кДж, количество используемых конденсаторов – 2 шт. (последовательное соединение).

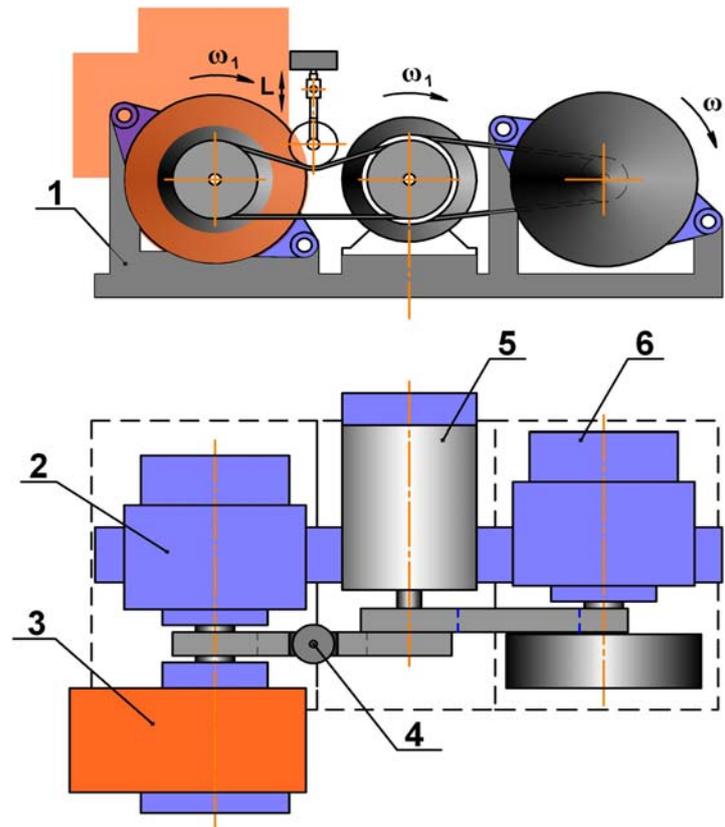


Рис. 1. Кинематическая схема привода:
 1 – рама; 2 – генератор (Г1); 3 – ДВС;
 4 – устройство распределения мощности; 5 – МГ1;
 6 – узел нагрузки (УН)

Энергия в конденсаторе рассчитывается по формуле

$$W = \frac{C \times U^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где C – электрическая ёмкость, Ф; U – напряжение на клеммах конденсатора, В.

Энергия последовательно соединенных конденсаторов в начале разряда равна

$$W_1 = \frac{C / n \cdot (U_{\max} n)^2}{2000}, \text{ кДж}, \quad (2)$$

где n – количество последовательно соединенных конденсаторов, шт.

Энергия конденсаторов в конце разряда

$$W_2 = \frac{C / n \cdot (U_{\min} n)^2}{2000}, \text{ кДж}. \quad (3)$$

Энергия, отданная конденсаторами за время разряда равна

$$W = W_1 - W_2, \text{ кДж}. \quad (4)$$

Разгон осуществляется до момента достижения скорости вала электромотора - 3000 об/мин.

Торможение осуществляется с начальной скорости вала электродвигателя 3000 об/мин до момента завершения рекуперации.

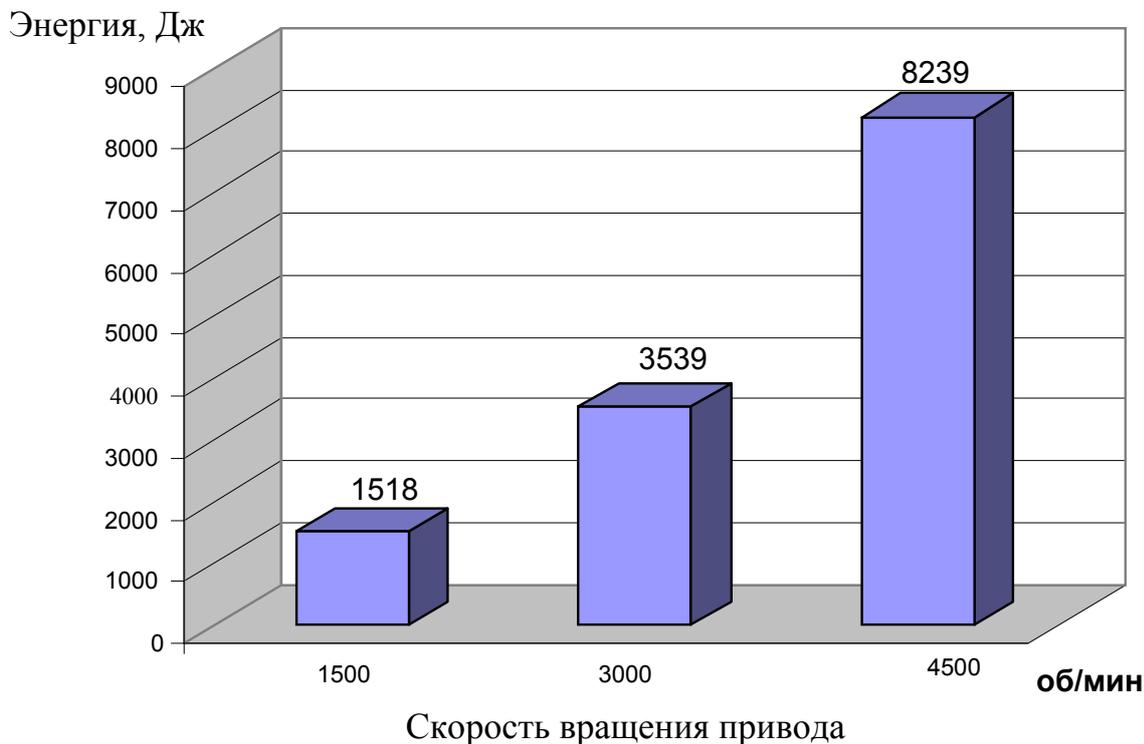


Рис. 2. Гистограмма энергозатрат при разгоне привода

Результаты исследования эффективности рекуперации при торможении привода представлены в таблице 1.

Прирост напряжения на конденсаторном накопителе объясняется возвратом кинетической энергии вращающихся масс, соединенных с асинхронной машиной в накопитель.

Величину рекуперации привода может быть интерпретирована по-разному.

1. Отношение энергии, полученной при торможении привода до остановки с постоянной скорости ω к энергии, затраченной на разгон привода из состояния покоя до скорости ω .

2. Количество кинетической энергии движущегося привода, преобразованное при торможении до остановки в электрическую энергию и запасённое в накопителе энергии.

Для сопоставления энергозатрат проведена серия экспериментов, в которых измерено количество энергии W_{P100} (табл. 2), затраченной на разгон привода до 3000 об/мин (100 Гц), и количество энергии возвращённой в накопитель энергии при торможении с этой же скорости до остановки W_{T100} .

Таблица 1

**Исследование эффективности рекуперации энергии
при торможении привода**

№ п/п	Разгон				Торможение				Кр
	Uн, В	Uк, В	Разница на- пряжений, В	Затраченная энергия, Дж	Uн, В	Uк, В	Разница на- пряжений, В	Возвращён- ная энергия, Дж	
1	325	308,3	16,7	4230	309	313,5	4,5	1121	0,26
2	323	306,1	16,9	4253	307	311,5	4,5	1113	0,26
3	313	295,7	17,3	4212	295	299,5	4,5	1070	0,25
4	309	292	17	4087	291	295,1	4,1	961	0,24
5	295	279,7	15,3	3517	279	283	4	899	0,26
6	284	268,2	15,8	3490	268	271,9	3,9	842	0,24
7	271	255,6	15,4	3244	255	259	4	822	0,25
8	258	241	17	3393	241	244,8	3,8	738	0,22
9	245	229,6	15,4	2924	229	233	4	739	0,25
10	234	217	17	3067	218	222,2	4,2	740	0,24
11	231	214,6	16,4	2923	214	217,8	3,8	656	0,22
12	225	209,4	15,6	2711	209	212,7	3,7	624	0,23
13	206	190,1	15,9	2519	190	194,2	4,2	645	0,26
Среднее значение:				3281	Среднее значение:			794	0,24
								Разброс, %	4,72

Коэффициент возвращённой (рекуперируемой энергии) для первого случая:

$$K_{PI} = \frac{W_{T100}}{W_{P100}} = \frac{794}{3281} = 0,242. \quad (5)$$

Таким образом, в накопитель может быть возвращено в среднем 24,2% затраченной на разгон энергии.

Во втором случае для вычисления эффективности рекуперации должна быть известна кинетическая энергия движущегося привода.

Вычислить энергию движущегося привода можно, определив величину потерь энергии в процессе разгона или вычислив энергию вращающихся масс привода при разгоне. Для определения величины потерь привода при разгоне записана характеристика потерь. Измерения производятся с помощью записывающей системы L-Card.

Таблица 2

Потери энергии в приводе, при разгоне до 100 Гц за 7,1 сек.

Частота, Гц	I, А	U, В	P=IU, Вт	Время, с	W, Дж
10	1,20	45,8	54,96	0,5	27
20	1,15	85,1	97,87	1	49
30	1,12	123,6	138,43	1,5	69
40	1,12	162,4	181,89	2,1	109
50	1,12	201	225,12	2,7	135
60	0,94	201	188,94	3,4	132
70	0,82	201	164,82	4,2	132
80	0,74	200	148,00	5,1	133
90	0,7	202	141,40	6	127
100	0,66	202	133,32	7,1	147
Общая:					1061

Общие потери в приводе на разгоне W_{Π} составляют 1061 Дж.

Кинетическая энергия при движении с частотой 100 Гц (3000 об./мин) будет равна

$$W_K = W_{T100} - W_{\Pi} \quad (6)$$

Эффективность рекуперации при этом может быть рассчитана по формуле

$$K_{P2} = \frac{W_{T100}}{W_{P100} - W_{\Pi}} = \frac{794}{3281 - 1061} = 0,357 \quad (7)$$

Общие выводы по испытанию.

Эффективность рекуперации кинетической энергии движения привода составила 35,7%, в сравнении с реальными эксплуатационными показателями данная величина является достаточно высокой, как правило, в асинхронных тяговых приводах величина рекуперации составляет 15-35%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раков, В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дис. ...канд. техн. наук / В.А. Раков. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. - 169 с.

2. Раков, В.А. Исследование и испытание гибридных двигателей транспортных средств / В.А. Раков, А.В. Смирнов, Д.А. Колесниченко // Молодёжь. Наука. Инновации: Труды I международной научно-практической интернет-конференции. - Пенза: Пензенский филиал РГУИТП, 2010. – С. 246-257.

ОБ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. В. Русанова

Россия, Вологодский институт права и экономики ФСИН

Ю. Р. Осипов, М. С. Кузьмина

Россия, Вологодский государственный университет

Как известно, большинство объектов, подлежащих автоматизации, на нижнем иерархическом уровне автоматизированных систем управления технологическим процессом с достаточной степенью точности может быть аппроксимировано моделью, содержащей последовательное соединение звена запаздывания и инерционных звеньев.

Однако упрощенное описание объектов регулирования приводит к нестационарности параметров аппроксимации. Поэтому при управлении такими объектами с целью поддержания постоянства качества регулирования целесообразно ориентироваться на адаптивные законы управления, в которых тем или иным способом автоматическая подстройка параметров компенсирует изменения характеристик объекта.

Во многих случаях работа объекта сопровождается высоким уровнем помех, и надежной информацией о состоянии объекта является лишь информация о регулируемой координате и ее первой производной.

По этим причинам существующие локальные автоматизированные системы управления технологическим процессом реализуют, как правило, линейные пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) законы регулирования и наиболее качественно управляют стационарными процессами.

Однако разработка новых перспективных технологий и расширение функциональных возможностей старых привели к необходимости управлять большим числом нестационарных объектов. Применение при этом известных систем локального управления (ПИД-регуляторов) оказывается недостаточно эффективным.

Поэтому потребовалось создание адаптивных систем управления нестационарными объектами. Наиболее интересными, если говорить о практической стороне дела, являются адаптивные системы с использованием информации лишь о регулируемой координате и оценке ее производной. К настоящему времени разработаны адаптивные регуляторы двух типов, применение которых целесообразно для управления широким классом технологических процессов.

Поведение этих результатов хорошо аппроксимируется моделью, предоставляющей собой последовательно соединенные инерционные и

усилительные звенья. Первый из них реализует непрерывный линейный ПИД- закон управления с корректируемым общим коэффициентом усиления, что позволяет парировать изменения общего коэффициента усиления объекта.

Алгоритм адаптации заключается в следующем. При малых значениях оценок ошибки регулирования ε и ее первой производной ε' изображающая точка находится в окрестности 0 фазового пространства $(\varepsilon, \varepsilon')$, и выход из нее может быть вызван либо изменением параметров объекта, либо большим возмущающим воздействием.

В обоих случаях в процессе функционирования системы проводится оценка характеристик процесса регулирования, в соответствии с которой корректируется общий коэффициент усиления регулятора. Для формирования оценки определяется момент t_1 равенства 0 оценки первой производной и вычисляется максимальное значение $|\varepsilon(t)|$ на интервале времени $(t_1, t_1 + \Delta)$.

Показано, что отношение $\frac{|\varepsilon(t_1 + \Delta)|}{\max_{(t_1, t_1 + \Delta)} |\varepsilon(t)|}$ является монотонной функцией статической характеристики объекта и поэтому используется в алгоритме адаптации общего коэффициента усиления регулирования $K_p(t)$:

$$K_p(t) = K_p(t_1 - 0) \frac{|\varepsilon(t_1 + \Delta)|}{\max_{(t_1, t_1 + \Delta)} |\varepsilon(t)|} \quad (t > t_1 + \Delta). \quad (1)$$

Адаптивные регуляторы второго типа предусматривают одновременную коррекцию весовых коэффициентов ПИД-регулятора: общего коэффициента усиления и весовых коэффициентов при интегральной и дифференциальных составляющих.

Идея адаптации состоит в формировании аналога переходной функции и идентификации ее определенных параметров, информация о которых используется для коррекции параметров регулятора. Процесс идентификации начинается, когда изображающая точка выходит из определенной окрестности 0 $(\varepsilon, \varepsilon')$ и оценка производной ошибки регулирования становится равной 0. В этот момент сменяется структура управления (от непрерывной к импульсной) и формируется ступенчатое управляющее воздействие, в результате чего траектория ошибки регулирования становится аналогом переходной функции.

Теоретически доказано, что момент времени t_2 , когда $\ddot{\varepsilon}(t)$ впервые обращается в 0, зависит только от динамических характеристик процесса, а произведение $t_2 \varepsilon(t_2)$ — от общего коэффициента усиления объекта. С учетом этого свойства корректируются соответственно веса как интегральной K_i и дифференциальной K_d составляющих, так и коэффициента K_p :

$$K_p(t) = K_p(t_2 - 0) \frac{1}{t_2 \varepsilon(t_2)} \quad (2)$$

$$K_p(t) = K_p(t_2 - 0)t_2, \quad (3)$$

$$K_u(t) = K_u(t_2 - 0)\frac{1}{t_2}, \quad (4)$$

После коррекции, проводимой в момент времени t_2 , управление осуществляется с помощью настроенного ПИД-регулятора.

Для того чтобы определить, насколько качественен алгоритм коррекции, описанный формулами (2)-(4), необходимо определить критерий качества. Выбор одного из интегральных критериев невозможен, так как оптимальные значения параметров системы управления зависят от начальных условий, информация о которых отсутствует. Поэтому желателен критерий, связанный исключительно с корнями характеристического уравнения замкнутой системы и не зависящий от начальных условий. Авторами принят критерий максимальной степени устойчивости, т.е. критерий максимальной удаленности ближайшего корня характеристического уравнения от мнимой оси [3]:

$$I = \max_{K_p, K_u, K_D} \min_i |\operatorname{Re} \lambda_i|. \quad (5)$$

Для многих случаев были найдены полученные аналитически оптимальные, если иметь в виду критерий (5), значения параметров ПИД-регулятора и значения параметров, вычисляемые в соответствии с логикой, описанной уравнениями (2)-(4). Оказалось, что они отличаются друг от друга не более чем на 10%.

В работе приведены коэффициенты K_p , K_u для двух наиболее распространенных случаев: 1) модель объекта представляет собой последовательно соединенные инерционные звенья, число n которых может меняться; 2) модель объекта является последовательно соединенными инерционным и запаздывающим звеньями, причем отношение постоянных запаздывания τ инерционности T меняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю.Р. Автоматизация управления тепловыми процессами при креплении эластомерных покрытий к металлу / Ю.Р. Осипов. — М.: Классик Прим, 2007 - 158 с.
2. Шубладзе, А.М. Способы синтеза систем управления максимальной степени устойчивости / А.М. Шубладзе // Автоматика и телемеханика. 1980. № 1.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОГРЕВА ПЛОТНОГО СЛОЯ КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ С ЦЕЛЬЮ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ УТИЛИЗАЦИИ

Н.Н. Сеницын, Д.А. Домрачев

Россия, Череповецкий государственный университет

Одним из способов повышения эффективности сжигания коры является ее предварительная сушка перед сжиганием. При сушке происходит сначала испарение влаги на поверхности коры, затем возникает фронт, отделяющий сухой и влажный слои коры. Фронт сушки перемещается от поверхности внутрь коры. Целью моделирования является определение координаты фронта и температуры поля в сухой и влажной частях коры.

Рассмотрим процесс сушки на примере формы коры в виде пластины. Для примера приведем математическую модель одномерного симметричного процесса сушки пластины из коры, которая включает в себя сквозное уравнение теплопроводности, общее для влажной и сухой зон пластины:

$$c_{эф}(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x}), \quad (1)$$

интегрируемое в области: $0 \leq x \leq S$, $0 \leq \tau \leq \tau_k$; начальное условие:

$$T|_{\tau=0} = T^0; \quad (2)$$

граничное условие:

$$\text{при } x=0 \quad -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T - T_{cp}); \quad (3)$$

$$\text{при } x=S \quad \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где ρ – плотность материала; α – коэффициент теплоотдачи; S – половина толщины пластины; T_{cp} – температура среды; T^0 – начальная температура материала; λ – коэффициент теплопроводности. При этом выделение теплоты фазового перехода в уравнении (1) учитывают с помощью эффективной теплоемкости $c_{эф}$, задаваемой выражением:

$$c_{эф} = \begin{cases} c_1(T), & T > T_l; \\ c(T_c) \cdot \psi + c(T_l) \cdot (1 - \psi) + \frac{g \cdot L}{\Delta T}, & T_c \leq T \leq T_l; \\ c_2(T), & T < T_c, \end{cases}$$

Коэффициент теплопроводности и плотность определяют по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1, T < T_c; \\ \lambda_1 \cdot \psi + \lambda_2(1-\psi), T_c \leq T \leq T_n; \\ \lambda_2, T > T_n, \end{array} \right\} \rho = \left\{ \begin{array}{l} \rho_1, T > T_n; \\ \rho_1 \cdot \psi + \rho_2(1-\psi), T_c \leq T \leq T_n; \\ \rho_2, T < T_c, \end{array} \right.$$

где $T_n = T_\phi + 19,5$, $T_c = T_\phi - 37$ - фиктивные температуры начала и окончания фазового перехода воды; $c(T)$ - теплоемкость материала; c_1 и c_2 - теплоемкость сухого и влажного слоев материала; ρ_1 и ρ_2 - плотность сухого и влажного слоев материала; λ_1 и λ_2 - коэффициенты теплопроводности сухого и влажного слоев материала; g - доля влаги в элементарном объеме материала; S - половина толщины слоя материала; L - удельная теплота фазового перехода влаги; ψ - доля влажного материала. Величина ψ определяется по формуле:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1, T < T_c; \\ \frac{T_n - T}{T_n - T_c}, T_c \leq T \leq T_n; \\ 0, T > T_n, \end{array} \right.$$

На рисунке 1 показана схема расчетной области

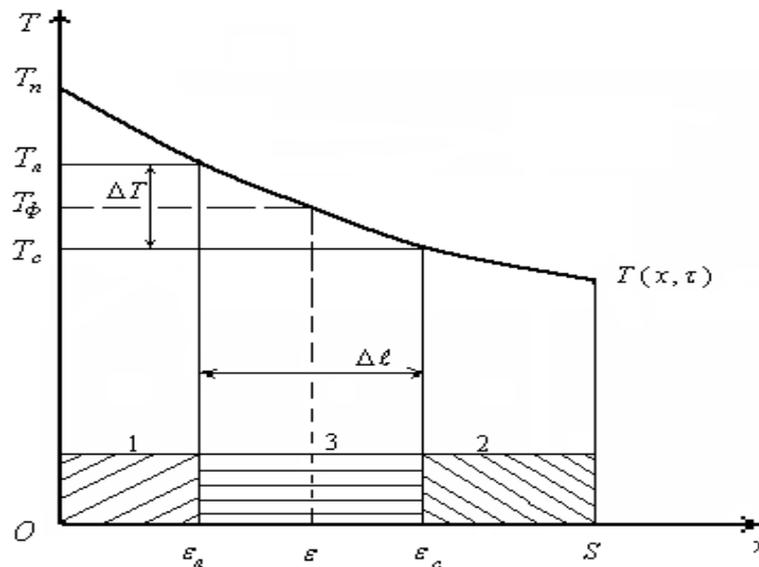


Рис. 1. Схема расчетной области

Расчетная область: 1 - сухая зона; 2 - влажная зона; 3 - двухфазная зона; Δl - ширина двухфазной зоны; $\epsilon_c, \epsilon, \epsilon_n$ - координаты границ начала двухфазной зоны, фазового перехода, окончания двухфазной зоны соответствующих температур T_c, T_ϕ, T_n и T_n - температуры поверхности.

Система уравнений (1) - (4) в общем случае может быть решена численным методом. При использовании метода конечных разностей значение температур определяют в узлах расчетной области, координаты которых находят по формуле: $x_i = (i - 0,5)\Delta x$, для дискретных моментов времени $\tau^n = \Delta\tau \cdot n$, где $i = \overline{0, N+1}$, N - количество узлов внутри расчетной области, 0 и $N+1$ - номера фиктивных узлов, находящихся за пределами области на расстоянии $\Delta x/2$; $\Delta x = S/N$ - расстояние между узлами; $n = \overline{0, [\tau_k/\Delta\tau]}$ - моменты времени ($n = 0$ - начальный момент времени); $\Delta\tau$ - расчетный шаг по времени. Для краткости температуры $T(x_i, \tau^n)$ - обозначают T_i^n .

При использовании явной схемы аппроксимации производных по координате температуру в следующий момент времени $n + 1$ в N внутренних узлах определяют по формуле:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\Delta\tau}{c(T_i^n) \cdot \rho(T_i^n) \cdot \Delta x^2} \cdot \left[\lambda_{i+\frac{1}{2}} \cdot (T_{i+1}^n - T_i^n) - \lambda_{i-\frac{1}{2}} \cdot (T_i^n - T_{i-1}^n) \right],$$

где $i = \overline{1, N}$, $\lambda_{i+\frac{1}{2}} = \lambda\left(\frac{T_{i+1}^n + T_i^n}{2}\right)$, $\lambda_{i-\frac{1}{2}} = \lambda\left(\frac{T_i^n + T_{i-1}^n}{2}\right)$.

Температуру в начальный момент времени задают по формуле:

$$T_i = T^0 \text{ для } i = \overline{0, N+1}.$$

Температуру в фиктивных узлах: $i=0$ и $N+1$ в момент времени $n+1$ определяют по формулам:

$$T_0 = \frac{(1-\chi) \cdot T_1 + 2 \cdot \chi \cdot T_{cp}}{1+\chi}, \quad \chi = \frac{\alpha \cdot \Delta x}{2\lambda}, \quad T_{N+1} = T_N.$$

Расположение границы перехода воды в пар определяют в поле температуры по температуре фазового перехода влаги в цикле по $i = \overline{2 \dots N}$ из условия:

$$\text{если } T_{i-1} \geq T_\phi \geq T_i; \text{ то } \varepsilon = \Delta x \cdot (i - 3/2) + \Delta x \cdot \frac{T_{i-1} - T_\phi}{T_{i-1} - T_i}.$$

Численное решение при явной схеме аппроксимации является условно устойчивым. В этом случае расчетный шаг определяем по формуле: $\Delta\tau = \Delta x^2 / (k_y \cdot a)$, где $k_y \geq 2$.

Погрешность численного решения в данном случае будет зависеть от настроечных параметров алгоритма N , k_y и ΔT . Необходимо эти параметры выбрать таким образом, чтобы погрешность результатов моделирования не превосходила заданную. Для выбора этих параметров выполним тестирование численного решения задачи Стефана путем сравнения с точным решением этой задачи [1], которое известно для граничного условия I рода и включает поле температуры:

в сухой зоне:
$$T_1(x, \tau) = T_n + (T_\phi - T_n) \cdot \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_1\tau}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\beta}{2\sqrt{a_1}}\right)}, \quad (5)$$

во влажной зоне:
$$T_2(x, \tau) = T^0 - (T^0 - T_\phi) \cdot \frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_2\tau}}\right)}{\operatorname{erfc}\left(\frac{\beta}{2\sqrt{a_2}}\right)}, \quad (6)$$

и формулу для расчета координаты границы фазового перехода воды:

$$\varepsilon = \beta\sqrt{\tau}, \quad (7)$$

где β - корень трансцендентного уравнения (8):

$$\frac{\lambda_1(T_\phi - T^0)}{\sqrt{a_1} \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\beta}{2\sqrt{a_1}}\right)} \cdot \exp\left(-\frac{\beta^2}{4a_1}\right) - \frac{\lambda_2 \cdot (T^0 - T_\phi)}{\sqrt{a_2} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\beta}{2\sqrt{a_2}}\right)} \cdot \exp\left(-\frac{\beta^2}{4a_2}\right) = \rho_2 \cdot g \cdot L \cdot \beta \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (8)$$

В формулах (5) - (8) использованы следующие обозначения: λ_1 и λ_2 теплопроводности сухой и влажной зон материала, $a_i = \lambda_i / (c_i \cdot \rho_i)$ - температуропроводность ($i = 1$ - сухая зона, $i = 2$ - влажная зона), c_i, ρ_i - теплоемкость и плотность, T_n - температура поверхности, T^0 - начальная температура материала, $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi$, $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-\xi^2} d\xi$.

Тестирование выполним для пластины толщиной $5S = 0,0125$ м, нагреваемой в симметричных условиях. Моделирование и расчет проведены по формулам (5) – (8). Размер расчетной области и граничные условия для модели выберем с учетом того, что точное решение получено для граничных условий первого рода и расчетной области в виде полупространства, а задача сушки сформулирована для граничных условий третьего рода и расчетной области конечной толщины. При тестировании исследовали влияние настроечных параметров конечно-разностного решения задачи на результаты и погрешность моделирования. Результат исследования установлено, что при $N = 140$ численное решение практически совпадает с точным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности /А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967 – 600 с.

ПРОГРЕВ ОДИНОЧНОГО КУСКА УГЛЯ В УСЛОВИЯХ СУШКИ В ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРУБЕ-СУШИЛКЕ

Н.Н. Сينيцын, В.Н. Драчева

Россия, Череповецкий государственный университет

Наблюдения за прогревом крупных частиц натурального твердого топлива на лабораторных установках показали, что процесс сопровождается разрушением частицы. Для изучения прочностных характеристик разработана математическая модель прогрева куска угля при сушке. Для улучшения размола топлива его подсушивают, например, для влажных топлив с внешней влажностью 15-20%. Частичная предварительная подсушка топлива может осуществляться непосредственно перед мельничным устройством в коротких сушильных трубах. Окончательная досушка топлива проводится в мельнице в процессе размола. Прогрев крупных частиц натурального твердого топлива в высокотемпературной среде идет со значительной разницей температур между поверхностью и центром. Это вызывает появление термических напряжений.

Сначала прогревается частица, но как только температура ее поверхности достигает температуры фазового перехода воды, резко интенсифицируется испарение влаги с возникновением фронта испарения, который по мере прогрева частицы перемещается к ее центру. Этот процесс происходит в условиях неоднородного поля температур по сечению частицы. Сухой слой частицы продолжает прогреваться, и при достижении температуры 440 – 470 К начинается термическая деструкция органической массы топлива. Образовавшиеся органические вещества диффундируют через пограничный слой частицы в поток газа. Поэтому прогрев крупной частицы топлива описывается нестационарным квазилинейным уравнением теплопроводности с переменными коэффициентами температуропроводности, зависящими от температуры, и переменными граничными условиями.

Приняты следующие допущения:

- сферическая частица обладает изотропными свойствами;
- пренебрегаем теплопоглощением и тепловыделением при выходе летучих веществ;
- пренебрегаем горением летучих у поверхности частицы, так как лучистый поток на частицу намного больше потока, излучаемого при выделении и горении летучих.

Таким образом, для сферической изотропной частицы топлива процессы ее прогрева и сушки с изменением агрегатного состояния воды и выхода летучих веществ можно описать следующими уравнениями (1):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_1(r, \tau)}{\partial \tau} &= a_1(T_1) \left(\frac{\partial^2 T_1(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad r < \xi; \\ \frac{\partial T_2(r, \tau)}{\partial \tau} &= a_2(T_2, V_{\text{лет}}) \left(\frac{\partial^2 T_2(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad \xi < r < r_{\text{ч}}; \\ -\lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1(\xi, \tau)}{\partial r} &= -\lambda_2(T_2, V_{\text{лет}}) \frac{\partial T_2(\xi, \tau)}{\partial r} - W^p \rho \cdot r_n \frac{d\xi}{d\tau}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{dV}{d\tau} = K_0 \cdot \exp[-E/(R \cdot T_2(r, \tau))] \cdot (1 - V); \quad (2)$$

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{dW}{d\tau} + \frac{dV}{d\tau}; \quad (3)$$

начальные условия:

$$T_1(r, 0) = T_2(r, 0) = T_0; \quad \xi = r_{\text{ч}};$$

граничные условия:

$$T_1(\xi, \tau) = T_2(\xi, \tau) = T_{\text{исп}} = \text{const}$$

и

$$q_{\text{пов}} = \alpha_{\text{к}}(T_{\text{пот}} - T_2(r_{\text{ч}}, \tau)) + a_{\text{ч}} \cdot q_{\text{пад}} - \sigma_0 \cdot \varepsilon \cdot (T_2(r_{\text{ч}}, \tau))^4, \quad (4)$$

где (4) – граничные условия третьего рода, учитывающие лучистый и конвективный теплообмен частицы с потоком газа; $T_1(r, \tau)$ – текущая температура до фронта испарения влаги, К; $T_2(r, \tau)$ – текущая температура за фронтом испарения влаги, К; r – текущая координата, м; $a_1(T_1)$ и $a_2(T_2, V_{\text{лет}})$ – коэффициенты температуропроводности, м²/с, рассчитываются по экспериментальным данным; $V_{\text{лет}}$ – доля летучих в частице; $r_{\text{ч}}$ – радиус частицы, м; $\lambda_1(T_1)$ и $\lambda_2(T_2, V_{\text{лет}})$ – коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К); W^p – влажность топлива на рабочую массу, %; ρ – плотность влажного угля, кг/м³; r_n – теплота парообразования, Дж/кг; ξ – текущая координата фронта испарения, м; T_0 – начальная температура частицы, К; $q_{\text{пов}}$ – плотность теплового потока на поверхности частицы, Вт/м²; $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи конвекции, Вт/(м²·К); $T_{\text{ном}}$ – температура потока, обтекающего частицу, К; $a_{\text{ч}}$ – коэффициент поглощения для угля; $q_{\text{пад}}$ – плотность лучистого потока в топке, определяется экспериментально, Вт/м²; ε – степень черноты угля $\varepsilon = 0,8$.

В системе уравнений (1)-(4) первые два уравнения описывают прогрев частицы формы шара до и после фронта испарения, третье уравнение определяет положение фронта испарения.

Система уравнений (1)-(4) может быть решена только численно. Метод разделения переменных неприменим для решения квазилинейных уравнений.

Для решения этой системы уравнений (1)-(4) были использованы метод конечных разностей, явная схема.

При условии симметричного относительно центра распределения температур, изотропности материала (анизотропией можно пренебречь при $C_r < 94\%$), а также отсутствия усилий на внешней поверхности ($\sigma_r^t |_{r_q} = 0$) расчет радиальных (σ_r^t) и окружных ($\sigma_{\theta_1}^t$ и $\sigma_{\theta_2}^t$) компонентов напряжений можно провести по зависимостям:

$$\sigma_r^t = \frac{2\alpha^t E^*}{1-\nu} \left(\frac{1}{r_q^3} \int_0^{r_q} T \cdot r^2 dr - \frac{1}{r^3} \int_0^r T \cdot r^2 dr \right); \quad (5)$$

$$\sigma_{\theta_1}^t = \sigma_{\theta_2}^t = \frac{\alpha^t E^*}{1-\nu} \left(\frac{1}{r_q^3} \int_0^{r_q} T \cdot r^2 dr + \frac{1}{r^3} \int_0^r T \cdot r^2 dr - T \right), \quad (6)$$

где α^t – коэффициент теплового расширения угольной частицы; ν – коэффициент Пуассона, $\nu = 0,37$ при $C_r < 94\%$

Для определения компонентов термических напряжений необходимо вычислить интегралы в формулах (5) и (6). В общем виде эту задачу решить невозможно, так как функция $T(r)$ неизвестна. В данном случае имеется поле температур – сеточная функция $T(r_i)$, которая распространена и на межузловое пространство с помощью сплайновой интерполяции.

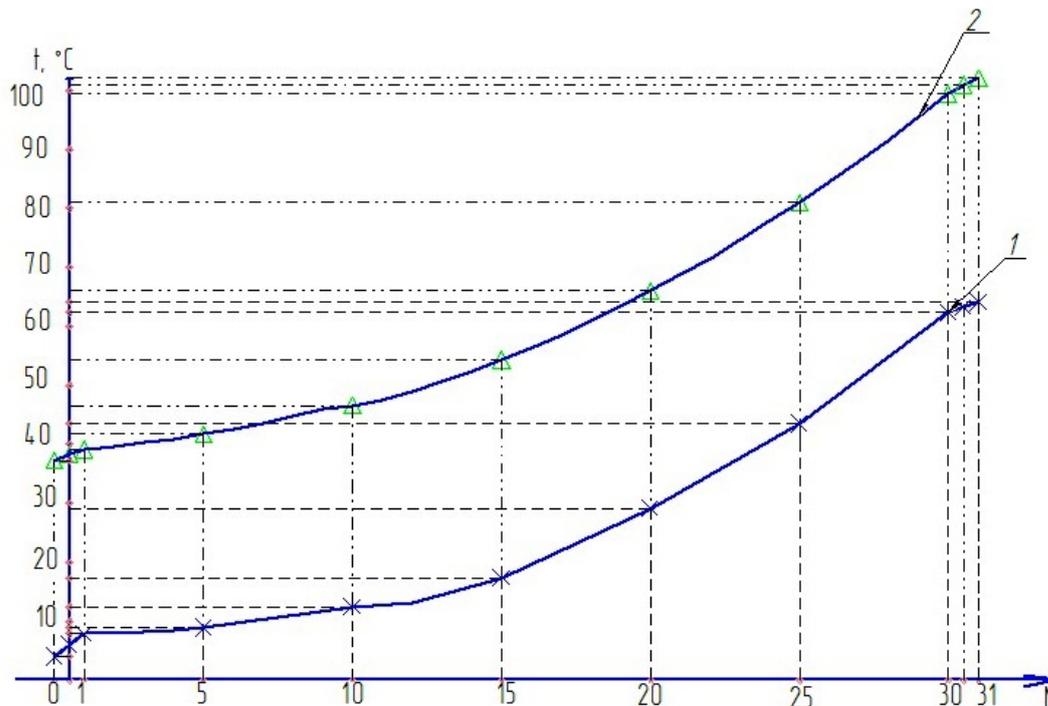


Рис. 1. Распределение температуры в узлах сетки при $N = 30$:
1 – момент времени $\tau = \tau_1$; 2 – момент времени $\tau = \tau_2$

Таким образом, вычислив значения термических и механических напряжений, можно вычислить максимальное растягивающее напряжение.

Эквивалентные напряжения на оси симметрии и на поверхности тела как внутри, так и вне контура давления определяются по формуле:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{II}} = \sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3), \quad (7)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные нормальные напряжения, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

По теории прочности точки с максимальным эквивалентным напряжением будут самыми опасными, и в них появятся первые признаки разрушения тела.

Зная разрушающее предельное напряжение, можно определить способность материала разрушаться, используя выражения:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{II расч}} = \sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{II эксп}},$$

где $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{II расч}}$ и $\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\text{II эксп}}$ – соответственно расчетное и экспериментальное эквивалентные напряжения, МПа.

Таким образом, предложенная модель расчета термических напряжений в угле, подготовленном в форме шара. Она позволяет произвести оценку прочностных характеристик материала при его прогреве, например, в трубе-сушилке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сеницын, Н.Н. Теплофизические процессы при движении одиночных частиц в газовом потоке / Н.Н. Сеницын. – Череповец: ЧГУ, 2001. – 153 с.
2. Тимошенко, С.П. Теория упругости. Гудьер Дж. / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ НАСАДКИ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

А.А. Сеницын, Н.Н. Монаркин, Т.В. Рогулина
Россия, Вологодский государственный университет

В настоящее время в жилых и общественных зданиях возникла проблема обеспечения оптимальных параметров микроклимата помещений. Это связано с установкой в таких помещениях пластиковых окон, которые нарушают процесс воздухообмена помещений. Причина такого нарушения заключается в том, что пластиковые окна благодаря своей герметичности полностью исключают инфильтрацию воздуха. Так как инфильтрация воздуха исключена, возникает необходимость проветривания помещений путем открытия оконных фрамуг. В холодный период года такое проветривание влечет за собой значительные потери тепловой энергии, которые расходуются на нагрев поступающего в помещение наружного холодного воздуха. Отсюда вытекает повышенный расход тепловой энергии системами отопления. Не лишним будет отметить, что отсутствие проветривания помещений вызовет превышение допустимого уровня углекислого газа и прочих вредных веществ, а проветривание холодным воздухом может привести к простудным заболеваниям [1]. Сложившаяся ситуация становится еще более проблемной вследствие выхода Федерального закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 № 261-ФЗ [2]. То есть проветривание помещений наружным холодным воздухом далеко не энергосберегающий и не энергоэффективный процесс. Таким образом, встает вопрос о разработке вентиляционного устройства, которое обеспечивало бы заданный воздухообмен помещений и одновременно отвечало требованиям закона.

Обзор литературных и патентных источников показал, что в настоящее время для решения проблем вентиляции жилых и общественных зданий используются приточные клапаны. Приточный клапан по своей сути представляет отверстие в стене либо в конструкции окна, через которое в помещение поступает наружный воздух. Некоторые виды приточных клапанов дают возможность регулирования расхода приточного воздуха, а также обеспечивают шумоизоляцию. Однако приточный клапан не многим отличается от форточки, так как в нем не происходит обработки воздуха. Более эффективным может стать включение теплообменных устройств в состав приточных клапанов. Теплообменник сможет подогревать приточный воздух, что исключит переохлаждение

воздуха в помещении, при этом поможет сэкономить энергию. На рисунке 1 показана классификация теплообменных аппаратов.

На данный момент уже существуют устройства, заменяющие приточные клапаны и имеющие в своем составе теплообменники. В нашей стране в данных устройствах преимущественно используются рекуперативные теплообменники, в меньшей степени регенеративные. В зарубежных странах ситуация обратная.

К числу усовершенствованных устройств можно отнести рекуператоры тепла вентиляционного воздуха. В таком устройстве тепло от воздуха, который должен быть удален из помещения, отдается воздуху, поступающему в помещение. Существует много разновидностей данного типа рекуператора отечественного и зарубежного производства. В основном встречаются централизованные рекуператоры тепла. Децентрализованные рекуператоры тепла зарубежного производства не могут использоваться в условиях суровых зим нашей страны.

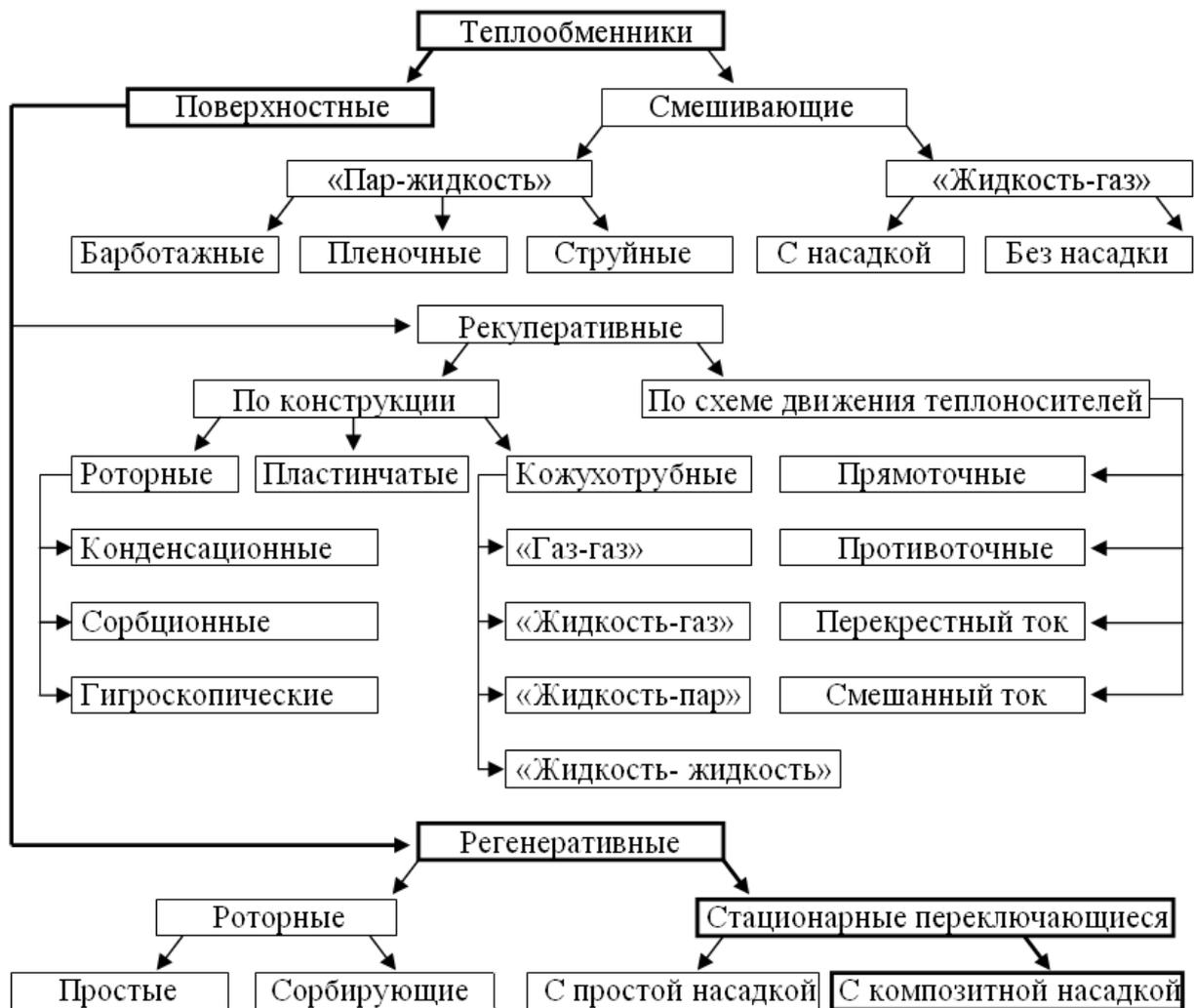


Рис. 1. Классификация теплообменных аппаратов

Другим направлением теплообменного оборудования для нужд вентиляции являются регенеративные теплоутилизаторы. Регенеративные теплоутилизаторы имеют более высокую степень энергосбережения, которая доходит у наиболее совершенных моделей до 85%. По этой причине регенеративные теплоутилизаторы имеют большой потенциал для развития и дальнейшего усовершенствования. Как и рекуператоры тепла вентиляционного воздуха, регенеративные теплоутилизаторы бывают централизованные и автономные. К числу автономных утилизаторов относятся стационарные переключающиеся регенеративные теплоутилизаторы (СПРТ). СПРТ получил широкое распространение в зарубежных странах, однако все известные приборы зарубежного производства перемерзают при наружной температуре около $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, что совершенно неприемлемо для российских условий. В нашей стране широкое распространение получил теплоутилизатор УВРК. Данный прибор имеет сходную конструкцию с зарубежными аналогами, но работоспособен и эффективен в условиях российского климата. УВРК обычно монтируется в стену, в своей конструкции имеет регенеративную насадку, реверсивный вентилятор, а также клапан с электроприводом.

Несмотря на преимущества регенеративного теплоутилизатора типа УВРК возникает ряд недостатков конструктивных особенностей данного прибора. Одна из проблем заключается в том, что для установки прибора нужно организовывать довольно большой сквозной канал в несущей стене, что не всегда удобно и допустимо.

Вопрос устройства подобного оборудования в оконный проем рассмотрен в серии патентов Вологодского государственного университета, в которых проработаны вопросы рекуперативных и регенеративных теплообменников. Однако опыты показали высокую эффективность регенеративных способов тепловой утилизации уходящего теплого воздуха. При этом насадка, применяемая в теплоутилизаторах типа УВРК, будет малоэффективной в виду ее материала и малых размеров.

Таким образом, ставится задача по разработке эффективной насадки в системе теплообменного устройства типа регенеративного стационарного реверсивного теплоутилизатора. По [3] при выборе материала исследованных теплоаккумулирующих насадок предпочтительными являются материалы, имеющие высокую плотность и теплоемкость. Для качественного усовершенствования насадки рассматривается вариант выполнения в качестве композита, состоящего из двух различных материалов, один из которых обладает высокой теплопроводностью, а другой высокой теплоемкостью. Под композиционным материалом (или композитом) будем понимать искусственно созданный неод-

нородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними.

Теплоемкость влияет на степень аккумуляции тепла от внутреннего проходящего воздуха насадкой, а от теплопроводности зависит интенсивность нагрева наружного воздуха насадкой. В настоящее время для СПРТ не применяются композитные насадки. В качестве материала с высокой теплопроводностью эффективнее использовать металл, а в качестве материала с высокой теплоемкостью – жидкость. Металл хорошо поддается различного вида обработкам и является одним из самых распространенных материалов для изготовления различных конструкций. В качестве материала с высокой теплоемкостью отдается предпочтение жидкости, потому что жидкости легко принимают объем устройства, в которое они помещены. Однако к жидкости в данном случае предъявляется требование низкой температуры замерзания.

Таким образом, ставится задача по исследованию эффективности композитной насадки СПРТ в условиях низких температур и ограниченных площадях теплообмена. Эффективность конструкции насадки зависит от площади соприкосновения проходящего через нее воздуха с поверхностью насадки. Чем больше площадь соприкосновения, тем более интенсивно будет происходить процесс регенерации и аккумуляции тепла насадкой. Поэтому стоит задача формирования такой конструкции насадки, чтобы она имела наибольшую возможную площадь соприкосновения. Добиться данного эффекта можно двумя способами. Во-первых, увеличить длину (протяженность) насадки, во-вторых, изменить ее конструкцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланда, Ю.И. Вентиляционные приборы для квартир. Рубрика: Кондиционирование, вентиляция. Журнал СОК. №6. 2011 [Электронный ресурс]: электронный журнал – Режим доступа: <http://www.c-ok.ru/articles/ventilyacionnye-pribory-dlya-kvartir>.
2. . Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности: федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. – М.: Российская газета, 2009. – 62 с.
3. Васильев В.А. Методы расчета тепловых процессов в стационарном переключающемся регенеративном теплоутилизаторе. Дисс. канд. техн. наук: 05.04.03. - СПб. 2010. – 136с.

ИТОГИ МОНИТОРИНГА РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА СРЕДСТВАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Сеницын, О.Ю. Никифоров

Россия, Вологодский государственный университет

Актуальность мониторинга и работы системы. В настоящее время управление качеством постепенно становится комплексным системным подходом, объединяющим в единую, уникальную, охватывающую все предприятие систему лучшие из известных в настоящее время методов обеспечения и повышения качества. Из обязанностей специализированной службы обеспечение качества превращается в цельную философию, разделяемую всеми подразделениями предприятия, основу корпоративной культуры, создаваемую руководством и определяющую все аспекты деятельности.

Управление вузом относится к сложнейшим слабоструктурированным задачам управления, для которых характерны:

- высокая степень неопределённости информации;
- наличие значительного числа разнородных входных и выходных параметров, многие из которых являются качественными, неформализованными и потому слабо поддающимися количественной оценке;
- комплексные, недостаточно чётко выраженные критерии эффективности.

Сложность проблемы обусловлена необходимостью принятия множества решений в условиях недостатка достоверной информации, в постоянно меняющейся ситуации. Лицо, принимающее решение, сталкивается с необходимостью сбора и анализа огромного объёма информации, поэтому практически невозможно обеспечить высокую эффективность принимаемых решений без системного применения информационных технологий во всех сферах деятельности вуза.

Научная новизна проекта обусловлена отсутствием универсального решения, которое было бы применимо в различных образовательных и научных организациях. Одной из составляющих системы менеджмента качества является разработка и применение методов для измерения результативности и эффективности каждого процесса на основе ключевых показателей качества. В настоящее время ведутся исследования по разработке таких методов и показателей, однако систематических результатов пока не получено.

Большинство современных корпоративных информационных систем планирования и управления включают в себя модуль контроля эф-

фективности деятельности, который обладает хорошей масштабируемостью и мощными вычислительными средствами. Однако подобные системы обладают очень высокой стоимостью и доступны лишь крупным компаниям. Кроме того, они не решают проблемы анализа эффективности в областях, где оперируют слабоформализуемыми категориями, например, наука, искусство, культура и т.д.

В настоящее время многие вузы нашей страны решают задачи мониторинга и оценки инновационно-ориентированной деятельности научных и научно-педагогических сотрудников. Разработано множество моделей позволяющих рассчитать различные показатели эффективности. Однако, универсального комплексного решения, которое бы позволило описать в единой системе унифицированных атрибутов различные объекты интеллектуальной собственности (от тезисов до патента на полезную модель), на зарубежном и отечественном рынке программного обеспечения не представлено.

Уникальность разрабатываемой информационной системы в том, что она через унифицированное описание объектов интеллектуальной собственности в разрезе сотрудников и научных направлений позволяет реализовать любые модели оценки эффективности научной и инновационно-ориентированной деятельности как отдельного сотрудника, так и вуза в целом.

Близким аналогом предлагаемой системы можно выделить информационную систему РИНЦ российской электронной библиотеки e-library.ru. Однако она оперирует только некоторыми объектами авторского права: высокорейтинговыми статьями, рецензируемыми ВАК и так называемыми статьями централизованной печати (отраслевые научные журналы). При этом учет и анализ только этих объектов интеллектуальной собственности весьма узок для полноценного анализа эффективности работы сотрудников ВУЗов.

Особенности работы системы. В настоящее время ведутся работы по созданию прототипа системы, на базе ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет». На основе этой системы будет создана модель универсальной информационной системы контроля данных кадрового состава вуза и формирования критериальных показателей эффективности его деятельности.

Обобщенная структурная модель системы (см. рис.1) включает 4 основных укрупненных элемента: блок управления пространством сотрудников, блок управление результатами деятельности, блок управления патентами, блок формирования и расчета показателей.

Блок управления пространством сотрудников является центральным элементом системы и отвечает за управление первичными данны-

ми. В структуре блока можно выделить две основные подсистемы: подсистема управления типовыми справочниками, подсистема управления базой сотрудников. Подсистема управления типовыми справочниками отвечает за управление справочниками различных атрибутов и свойств объектов. Для объектов интеллектуальной собственности это: должности, структурные подразделения, типы сотрудников, ученые степени, ученые звания, научно-образовательные центры, научные направления, научные школы, журналы/сборники, издательства и т.д. Подсистема управления базой сотрудников содержит информацию по всем сотрудникам организации с акцентами на производство выходного продукта их деятельности (в нашем примере, объектов интеллектуальной собственности). Реализовано представление, как через общий справочник-список, так и через карточки отдельных сотрудников. Подсистема согласования справочников обеспечивает возможность использования типовых справочников при работе с атрибутами сотрудников.

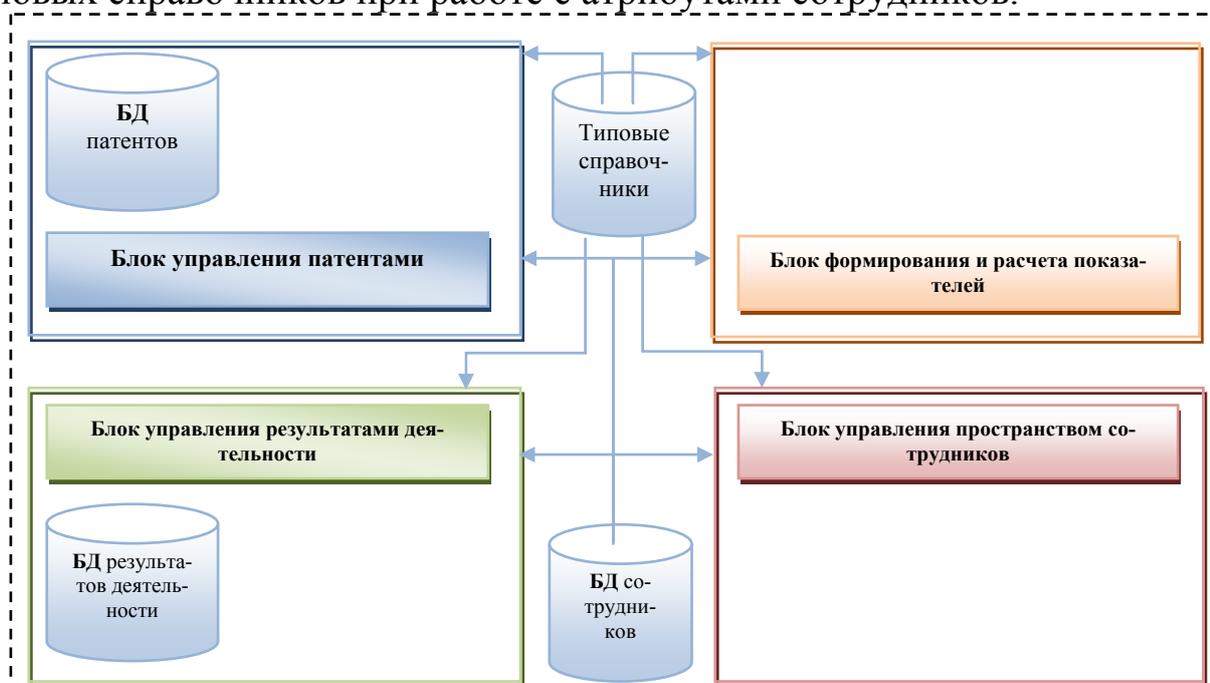


Рис. 1. Обобщенная структурная модель

Анализ мониторинга. За 2000 – 2013 гг. на 05.02.2014 г. в базе данных РИД содержатся сведения о 8297 единицах результатов интеллектуальной деятельности. Для удобства все РИД сгруппированы по следующим категориям: научно-исследовательские, учебно-методические, охранные и прочие. На рис.2 приведено распределение РИД по указанным категориям. Видно, что 67% всего объема РИД – это научно-исследовательские работы. При этом более половины из них – статьи в изданиях научных конференций вузов (в том числе ВоГУ), а 13% - публикации в российских периодических изданиях (см. рис.3).

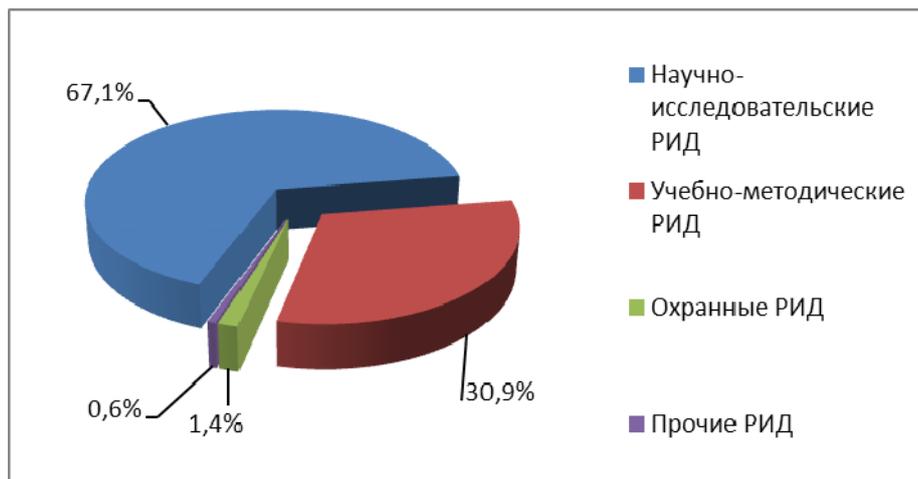


Рис. 2. Диаграмма распределения РИД

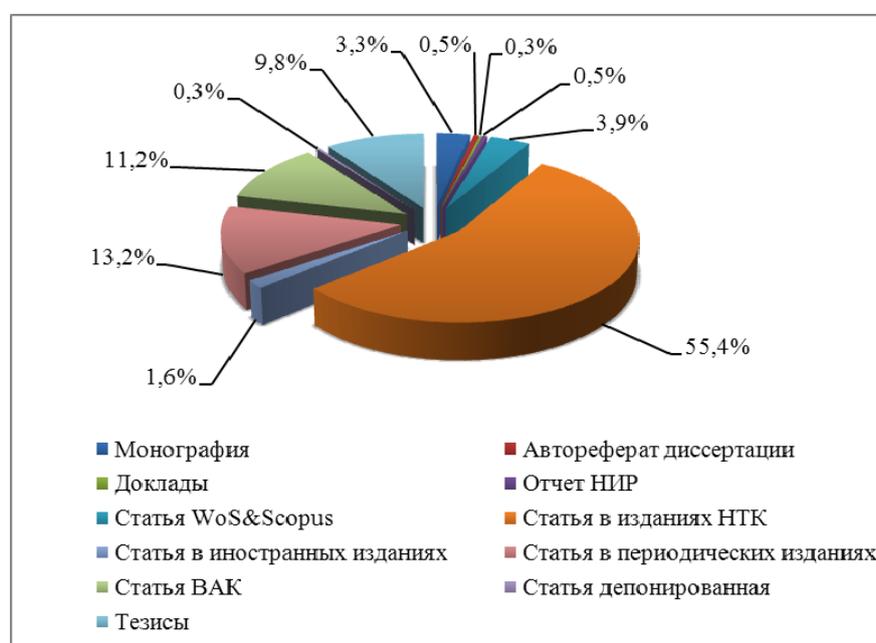


Рис. 3. Диаграмма распределения РИД по категории «Научно-исследовательские»

Таким образом, благодаря такой системе появятся новые возможности для становления и развития наукометрии в конкретно взятом вузе, что позволит, в частности:

- осуществлять анализ результатов научно-исследовательской, учебно-методической и прочей активности сотрудников и вуза в целом;
- выявлять наиболее эффективные направления развития научно-исследовательских и учебно-методических работ;
- рассчитывать с помощью наукометрических показателей рейтинги научных организаций и учебных заведений.

АНАЛИЗ МЯГКИХ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.А. Нассер

Россия, Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Обработка нечеткой информации и нечеткий вывод давно применяются в различных интеллектуальных системах, однако наиболее широкое распространение нечеткие системы получили в области управления. В связи с этим нечеткая логика дает возможность достаточно просто заложить в процесс управления априорную информацию о сложной технической системе (рис. 1) в виде нечетких правил управления [1].

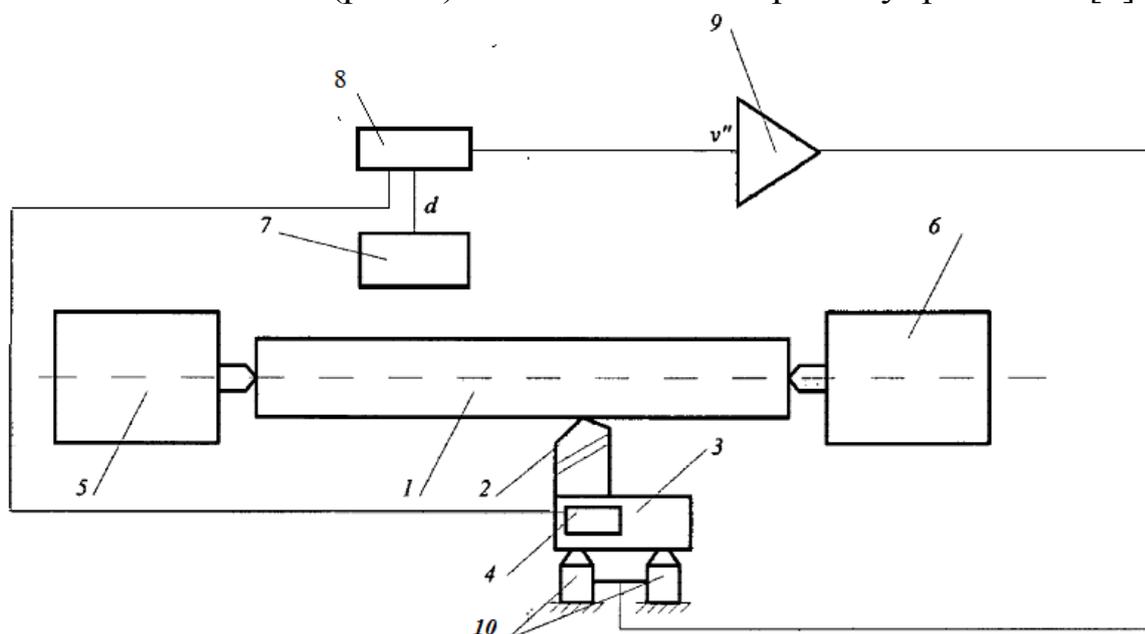


Рис.1. Нечетко-логическая система управления скоростью резания на оборудовании с ЧПУ:

*где 1 - деталь, 2 - резец, 3 - резцедержательный блок,
4 - силовметрический датчик, 5 - переднюю бабку,
6 - заднюю бабку, 7 - оптический датчик,
8 - нечеткий контроллер, 9 - блок усиления сигнала,
10 - исполнительные механизмы*

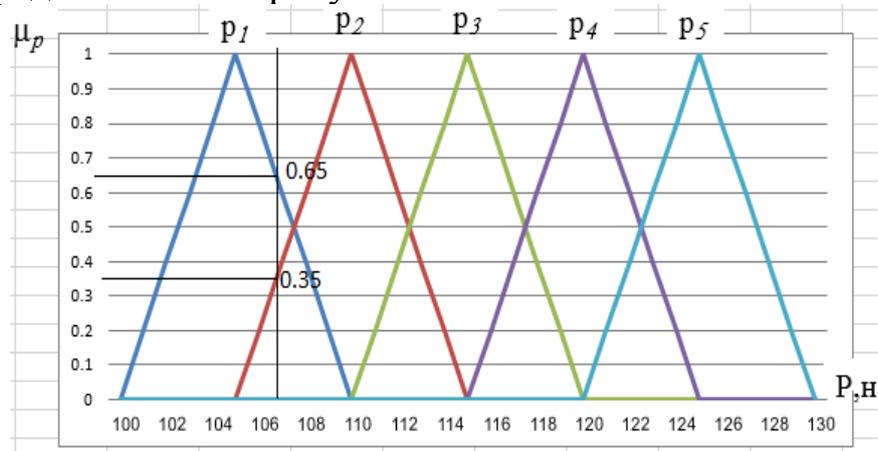
Принцип действия следующий. Вследствие температурных деформаций в процессе обработки детали 1 происходит удлинение режущего инструмента 2, что приводит к колебанию сил резания и дестабилизации процесса резания в целом. Для обеспечения стабилизации процесса механической обработки деталей авторами была разработана нечетко-логическая система управления, основным элементом которой является нечеткий контроллер 8, реализующий

операции нечетко-логического вывода. Первоначально сигналы силы резания и диаметра обрабатываемой детали, полученные от датчиков 4 и 7, преобразуются в лингвистические переменные на основе формулы

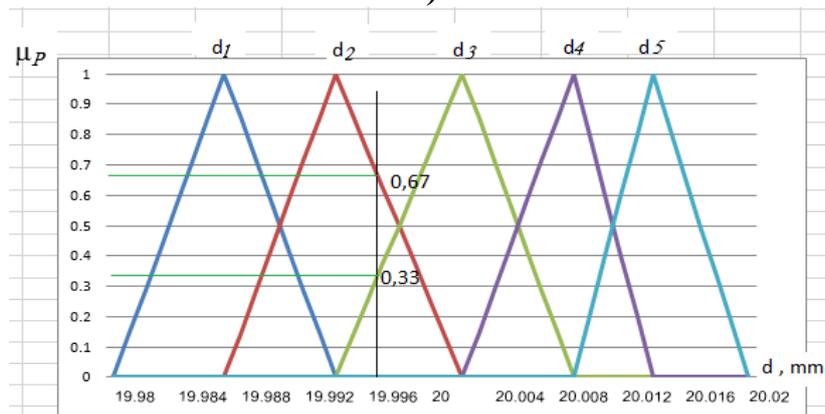
$$\mu(x) = \left[w_{11} \cdot \left(\frac{x_1 - a_1}{b_1 - a_1} \right) + w_{12} \cdot \left(\frac{c_1 - x_1}{c_1 - b_1} \right) \right] + \left[w_{21} \cdot \left(\frac{x_2 - a_2}{b_2 - a_2} \right) + w_{22} \cdot \left(\frac{c_2 - x_2}{c_2 - b_2} \right) \right] + \dots + \left[w_{nm} \cdot \left(\frac{x_n - a_n}{b_n - a_n} \right) + w_{nm} \cdot \left(\frac{c_n - x_n}{c_n - b_n} \right) \right] \quad (1)$$

где w – логические переменные.

В графическом виде лингвистические переменные входных величин представлены на рисунке 2.



а)



б)

Рис. 2. Графики функций принадлежности: а – входная переменная сила резания; б – входная переменная диаметр обрабатываемой детали

Далее реализуются процедуры нечеткого вывода на множестве продукционных правил, составляющих базу знаний системы управления, в результате чего формируются выходные лингвистические значения, которые переводятся в точные значения путем дефаззификации [2]. При этом на выходе нечеткого контроллера формируются управляющие воздействия, подаваемые на

исполнительные механизмы оборудования с ЧПУ, с целью изменения скорости резания. Если текущее значение силы резания и диаметра обрабатываемой поверхности детали меньше расчетной, то скорость резания необходимо увеличивать, в обратном случае скорость резания уменьшается.

С использованием методики НЛВ, детально рассмотренной в [2], были рассчитаны выходные величины с помощью жестких и мягких арифметических операций:

$$v_{ж}'' = \frac{(175 \cdot 0,33) + (178 \cdot 0,33) + (180 \cdot 0,35) + (185 \cdot 0,35) + (186 \cdot 0,65) + (194 \cdot 0,65)}{0,33 + 0,33 + 0,35 + 0,35 + 0,65 + 0,65} = 148,68 \text{ об/мин}$$

$$v_{м}'' = \frac{(175 \cdot 0,25) + (178 \cdot 0,25) + (180 \cdot 0,339) + (185 \cdot 0,339) + (186 \cdot 0,57) + (194 \cdot 0,57)}{0,25 + 0,25 + 0,339 + 0,339 + 0,57 + 0,57} = 184,89 \text{ об/мин}$$

При этом результат объединения усеченных термов в графическом виде представлен на рисунке 3.

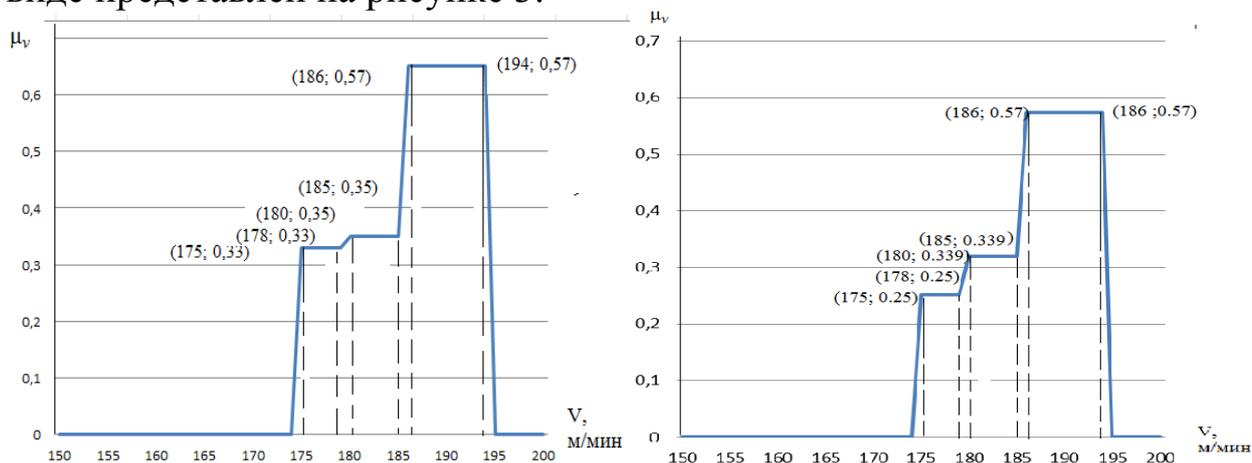


Рис. 3. Объединение усеченных термов:

а – на основе жестких арифметических операций;

б – на основе мягких арифметических операций

Анализ полученных данных показал, что при использовании в системе НЛВ мягких арифметических операций нечетко-логическая система аддитивна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2465116 Российская Федерация, МПК В23Q15/10. Способ и устройство управления скоростью резания на токарном оборудовании с ЧПУ / М.В. Бобырь; заявитель и патентообладатель ЮЗГУ. Опубл. 2012, бюл. № 30.
2. Бобырь, М.В. Моделирование нечетко-логических систем управления на основе мягких арифметических операций / М.В. Бобырь В.С. Титов, Г.Ю. Акулышин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. № 3. С. 29-35.

НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ

В.С. Титов, М.В. Бобырь, С.А. Кулабухов

Россия, Юго-западный государственный университет, г. Курск

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм управления автоматизированными системами на основе нечетко-логического вывода.

Ключевые слова: автоматизированная система, нечётко-логический вывод, нечеткая логика.

Введение. В настоящее время для управления автоматизированными системами используются различные виды алгоритмов, основанные на нечеткой логике. Огромный плюс нечетко-логических систем заключается в том, что на основе простых правил решаются достаточно сложные задачи управления сложными техническими комплексами. Авторами статьи был разработан алгоритм, основанный на нечетко-логическом выводе, способный найти применение во многих отраслях производства и науки.

Алгоритм. Разработанный алгоритм заключается в следующей последовательности действий:

Шаг 1. Расчёт эталонного значения входной величины.

Шаг 2. Формирование функций принадлежности (ФП) входной и выходной переменной:

$$M_t = \begin{cases} 0, & \text{если } t < a \text{ или } t > c \\ \frac{t-a}{b-a}, & \text{если } a < t < b \\ \frac{c-t}{c-b}, & \text{если } b < t < c \end{cases} \quad (1)$$

Входная переменная – t , выходная переменная – u , значения a, b, c выбираются из значений треугольной функции принадлежности (ФП) (рис. 1).

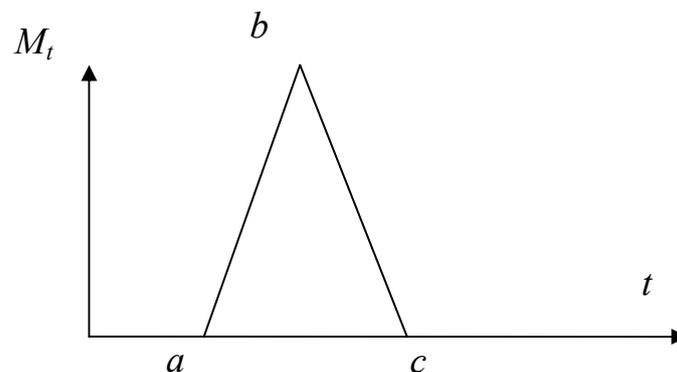


Рис. 1. График треугольной ФП

Шаг 3. Синтез нечетких правил управления (НПУ):

$$\begin{aligned}
 \text{НПУ}_1: & \text{Если } \langle t \leq t_1 \rangle \text{ То } \langle u \leq u_5 \rangle; \\
 \text{НПУ}_2: & \text{Если } \langle t = t_2 \rangle \text{ То } \langle u = u_4 \rangle; \\
 \text{НПУ}_3: & \text{Если } \langle t = t_3 \rangle \text{ То } \langle u = u_3 \rangle; \\
 \text{НПУ}_4: & \text{Если } \langle t = t_4 \rangle \text{ То } \langle u = u_2 \rangle; \\
 \text{НПУ}_5: & \text{Если } \langle t \geq t_5 \rangle \text{ То } \langle u \geq u_1 \rangle.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Шаг 4. Определение с помощью системы фазифицированного вектора значений t' (3):

$$t' = (t'_1, t'_2, t'_3, t'_4, t'_5). \tag{3}$$

Шаг 5. Аккумуляция термов ФП u' по формуле (4).

$$u' = \bigcup_{i=1}^n u_i, \tag{4}$$

где n – количество заключений нечетко-логического вывода (НЛВ).

Шаг 6. Дефазификация результата согласно формуле (5):

$$u'' = \frac{\sum_{i=1}^n u_{\min..max} \cdot \mu'(u_{\min..max})}{\sum_{i=1}^n \mu'(u_{\min..max})}, \tag{5}$$

Аккумуляционный вектор функций принадлежности u' преобразуется в единственное четкое значение выхода.

Шаг 7. Построение перебора возможных значений выходной переменной, рассчитанной по формуле 5 для каждого состояния входного параметра.

Заключение. На основе предложенного в статье алгоритма нечетко-логического вывода была написана программа, с помощью которой был выявлен недостаток, который заключается в появлении зон нечувствительности в диапазонах I и II (рис. 2).

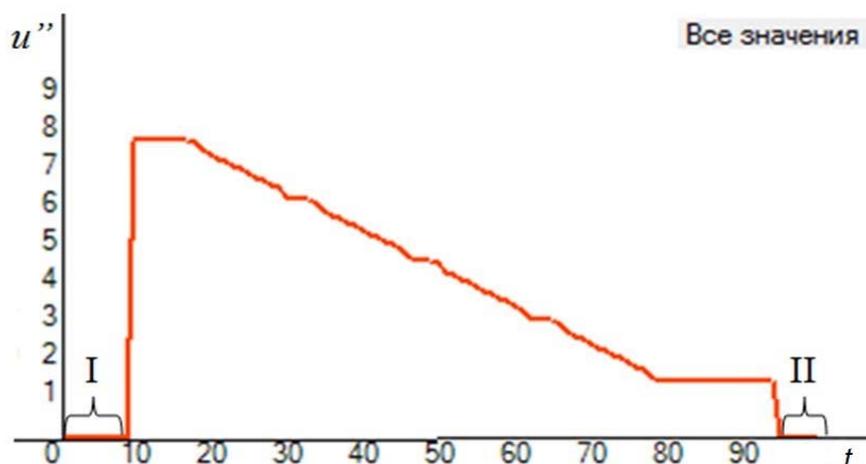


Рис. 2. График перебора всех возможных значений выходной переменной

Данный недостаток рекомендуется устранять за счет использования мягких арифметических операций при нахождении выходных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобырь, М.В. Проектирование адаптивной нечетко-логической системы управления. Часть I / М.В. Бобырь, В.С. Титов / Известия высших учебных заведений. – Приборостроение. 2013. – №6.
2. Бобырь, М.В. Проектирование адаптивной нечетко-логической системы управления. Часть II / М.В. Бобырь // Известия высших учебных заведений. – 2013. – №6.
3. Бобырь, М.В. Моделирование нечетко-логических систем управления на основе мягких арифметических операций / М.В. Бобырь, В.С. Титов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – №3 (105).

АНАЛИЗ СИЛОВЫХ СХЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ¹

**В.Р. Храмшин, О.И. Карандаева, Е.А. Храмшина,
О.И. Петухова, Ю.И. Мамлеева**

*Россия, Магнитогорский государственный технический
университет*

Более половины энергоблоков отечественных тепловых электростанций эксплуатируется более 35 – 40 лет, их оборудование основательно устарело и нуждается в коренной реконструкции. Это относится к теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – наиболее мощному собственному производителю электрической энергии ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат (ОАО “ММК”)). На данной электростанции в настоящее время планируется масштабная модернизация, в том числе установка частотно-регулируемых электроприводов на вспомогательных механизмах. Это предопределило необходимость проведения исследований принципов построения высоковольтных преобразователей частоты (ПЧ), с целью дальнейшего обоснованного выбора их типа и фирмы-производителя. Краткие результаты приводятся в настоящем докладе.

1. Двухтрансформаторная схема высоковольтного ПЧ

В схеме (рис. 1, а) осуществляется двойная трансформация напряжения с помощью понижающего (Т1) и повышающего (Т2) высоко-

¹ Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ

вольтных трансформаторов. Это позволяет использовать для регулирования частоты относительно дешевый низковольтный ПЧ.

Основными недостатками двухтрансформаторных ПЧ являются высокие массогабаритные характеристики, худшие по отношению к другим схемам КПД (93–96%) и низкая надежность. Преобразователи, выполненные по этой схеме, имеют ограниченный диапазон регулирования частоты как вверх, так и вниз от номинальной. Область рационального применения данных схем ограничена мощностью электропривода: двухтрансформаторная с низковольтным ПЧ – диапазоном порядка 500–1250 кВт, однотрансформаторная с заменой высоковольтного электродвигателя низковольтным – диапазоном 250–500 кВт. При большей мощности трансформатор Т2 вносит существенные искажения в процесс управления электродвигателем.

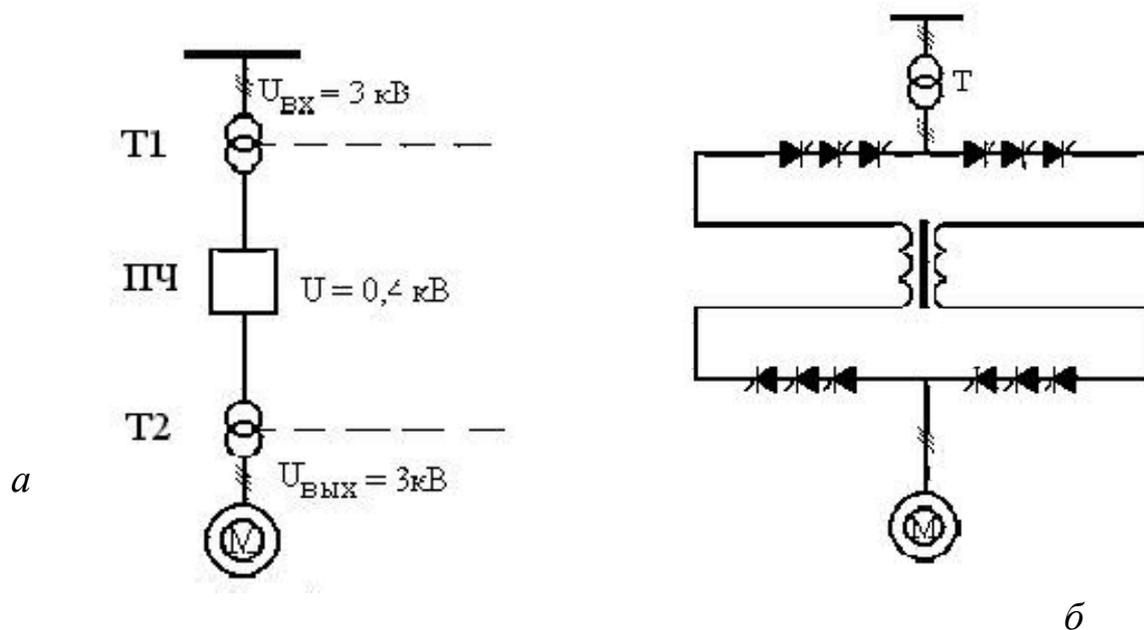


Рис. 1. Силовые схемы высоковольтных ПЧ:
а – двухтрансформаторная,
б – с последовательным соединением ключей в плече

2. Схема преобразователя с последовательным включением электронных ключей (рис. 1, б)

Для повышения рабочего напряжения ПЧ электронные ключи соединяют последовательно. Число элементов в каждом плече определяется величиной рабочего напряжения и типом элемента. Основная проблема для этой схемы состоит в строгом согласовании работы ключей по времени. Если один из элементов откроется с задержкой или закроется раньше остальных, то к нему будет приложено полное напряжение плеча, и он выйдет из строя.

Для снижения уровня высших гармоник и улучшения электромагнитной совместимости используют многопульсные схемы преобразователей. Согласование преобразователя с питающей сетью осуществляется с помощью многообмоточных согласующих трансформаторов. На рис. 1, б изображена 6-ти пульсная схема с двухобмоточным согласующим трансформатором. На практике существуют 12-ти, 18-ти, 24-х пульсные схемы ПЧ, число вторичных обмоток трансформаторов равно 2, 3, 4, соответственно. Схема является наиболее распространенной для высоковольтных ПЧ большой мощности. Преобразователи имеют одни из лучших удельные массогабаритные показатели, диапазон изменения выходной частоты от 0 до 250–300 Гц, КПД – 97,5%.

3. Схема преобразователя с многообмоточным трансформатором

Силовая схема преобразователя (рис. 2) состоит из многообмоточного трансформатора и электронных инверторных ячеек. Количество вторичных обмоток трансформаторов в известных схемах достигает 18. Вторичные обмотки электрически сдвинуты друг относительно друга. Это позволяет использовать низковольтные инверторные ячейки. Ячейка выполняется по схеме: неуправляемый трехфазный выпрямитель, емкостной фильтр, однофазный инвертор на IGBT транзисторах. Выходы ячеек соединяются последовательно.

В приведенном примере каждая фаза питания электродвигателя содержит три ячейки. По своим характеристикам преобразователи находятся ближе к схеме с последовательным включением электронных ключей.

4. Схема высоковольтного ЧРП с автономным источником тока (АИТ)

На рис. 3 приведена традиционная схема ПЧ на основе АИТ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Другие известные схемы отличаются только схемой управляемого выпрямителя. Применение ШИМ и

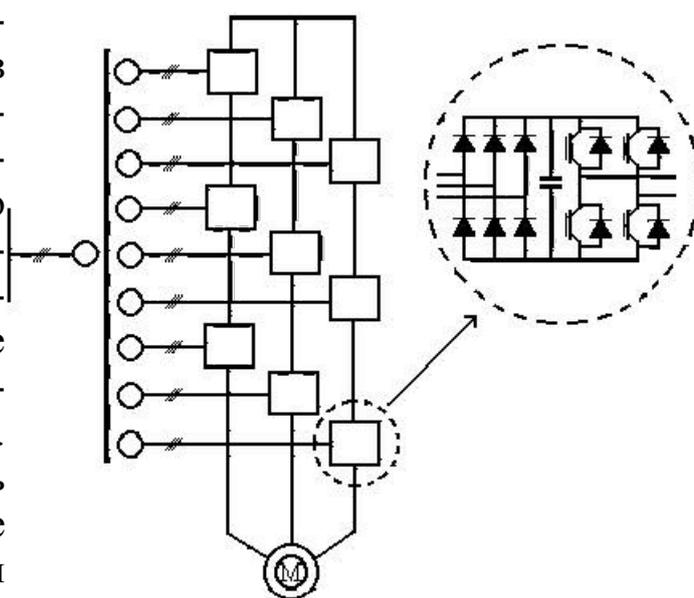


Рис. 2. Принципиальная схема преобразователя частоты с многоуровневым АИН

высокая частота коммутации (440–600 Гц по сравнению с 200–225 Гц у ГТО-тиристоров) позволяют получить формы инвертируемого тока и напряжения, близкие к синусоидальным,

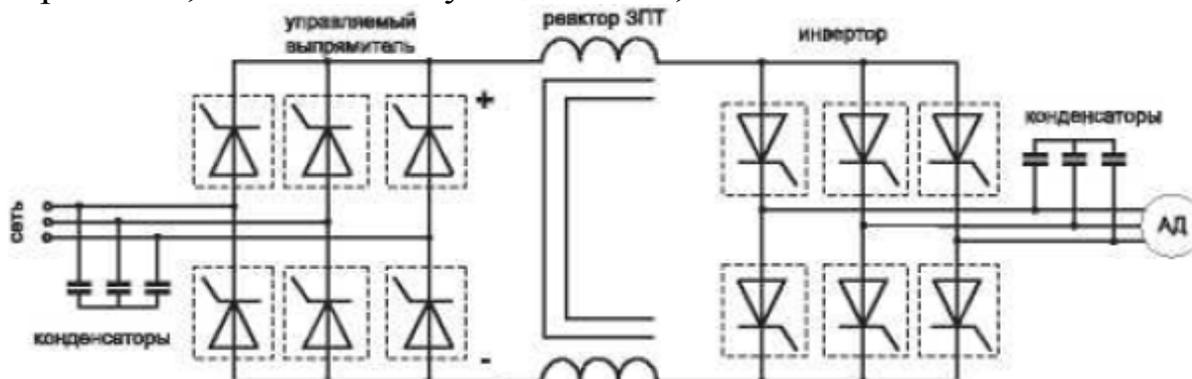


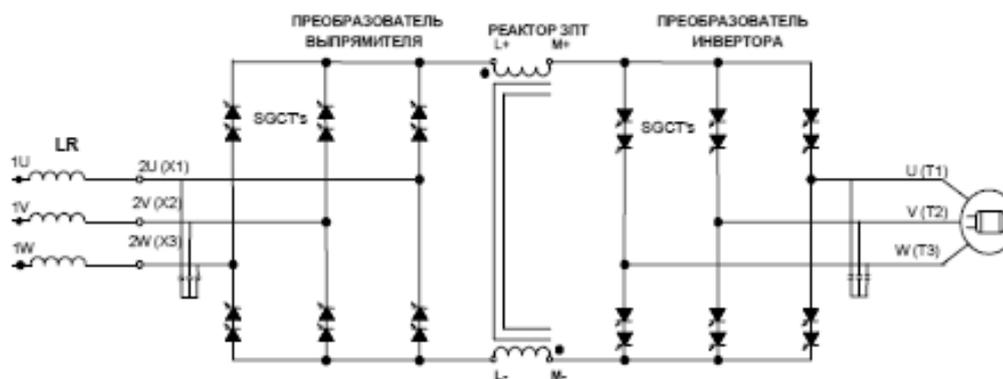
Рис. 3. Схема преобразователя частоты на основе АИТ с ШИМ

В настоящее время на российском рынке представлены высоковольтные ПЧ с выходным напряжением 6000 и 3300 В таких фирм, как "Allen-Bradley" (1557 MV и Power Flex 7000 на напряжение 6000 и 3300 В), ABB (ACS 1000 на напряжение 3300 В), Toshiba (Tosvert MV на напряжение 6000 и 3300 В), Mitsubishi (MELTRAC-F500HV на напряжение 6000 и 3300 В), Siemens (Simovert MV на напряжение 3300 В), ESTEL AS (ЭТВА на напряжение 6000 и 10000 В). Наибольшее применение получили ПЧ фирмы "Allen-Bradley", хорошо зарекомендовавшие себя на многих тепловых объектах (теплостанциях и тепловых электростанциях) РФ [1].

Диапазон мощностей электроприводов собственных нужд ТЭЦ ОАО "ММК@ составляет 160–1250 кВт, напряжение – от 3 до 10 кВ, в связи с чем обосновано применение высоковольтных преобразователей частоты серии Power Flex 7000 фирмы "Allen-Bradley". Упрощенная электрическая схема преобразователя на напряжение 3,3 кВ с 6-пульсным выпрямителем представлена на рис. 4. Высоковольтные ПЧ PowerFlex 7000 используют полупроводниковую технологию на запираемых тиристорах для управления стандартными (а не только специальными) асинхронными и синхронными электродвигателями, и обеспечивают простое и эффективное управление частотой вращения двигателей [2].

В ходе проведенных исследований сформулированы технологические требования к частотно-регулируемым электроприводам (ЧРП) механизмов ТЭЦ, обосновано условие восстановления технологического режима котлоагрегатов при нарушении электропитания. Проведены экспериментальные исследования самозапуска высоковольтного ЧРП.

3300/4160 В – 6-ти пульсный выпрямитель



3300/4160 В – ШИМ-выпрямитель

*Доступна конфигурация с опциональным изолирующим трансформатором

Рис. 4. Схема ПЧ PowerFlex 7000 с шестипульсным выпрямителем

Результаты исследований переданы в электрослужбу ТЭЦ и центральную электротехническую лабораторию ОАО «ММК», где использованы при разработке «Программы внедрения энергосберегающих мероприятий ОАО «ММК» на 2012–2015 годы» и «Программы реконструкции электроприводов собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК»».

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев, Г.Б. Опыт и перспективы применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в электроэнергетике России. URL: http://www.privod-news.ru/may_03/25-3.htm.
2. PowerFlex7000 Высоковольтный привод переменного тока. Конструктивное исполнение «В». Техническое руководство // Rockwell Automation. <http://www.energoresurs-ek.ru/docs/drives/mediumvoltage/7000-td200b-ru-p.pdf>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

А.Н. Швецов, Е.Л. Хрянин

Россия, Вологодский государственный университет

Рассматривается проблема эффективного использования возможностей дистанционного образования в вузе для целей корпоративного, заочного, дистанционного и непрерывного обучения. Обосновывается необходимость создания собственной среды обучения, позволяющей сократить затраты на обучение и обеспечить удобную работу студентов и преподавателей.

Актуальность внедрения данной технологии заключается в том, что с тем же самым профессорско-преподавательским составом появляется возможность обучать большее количество людей при аналогичных затратах. Дополнительным плюсом данного обучения является то, что все обучающие материалы и методические указания распространяются в электронном виде.

В филиале Санкт-Петербургского государственного экономического университета в г. Вологде в 2012 году было принято решение о внедрении системы дистанционного обучения (СДО) для обеспечения потребностей вуза. Были выставлены следующие требования к системе: Минимальная стоимость внедрения; Расширяемость – возможность подключения дополнительных модулей; Низкие требования к оборудованию; Доступность системы для пользователя; Авторизованный доступ для пользователя; Поддержка популярных текстовых форматов; Низкая стоимость обслуживания.

С учетом вышеперечисленных требований были рассмотрены (табл. 1) варианты внедрения как сторонних программных продуктов, так и разработка собственной системы.

Таблица 1

Сравнение популярных образовательных CMS

СДО	Moodle	ILIAS	JoomlaLMS
Стоимость внедрения	+	+	–
Расширяемость	+	–	–
Требования к оборудованию	–	–	+
Доступность	+	+	+
Авторизация	+	+	+
Текстовые форматы	+	+	+
Стоимость обслуживания	–	–	–
Итого	5	4	4

Собственная разработка сможет обеспечить все рассмотренные требования.

Из рассмотренных существующих систем дистанционного обучения лучшим вариантом видится система Moodle. Она наиболее гибкая и дешевая в обслуживании. Но её медлительность и требовательность к оборудованию перечеркивает её достоинства, т.к. для обеспечения качественной её работы требуется закупка мощного сервера.

Рассматриваемые варианты при эквивалентных функциональных характеристиках различаются единовременными и эксплуатационными затратами. В связи с этим рассчитаем критерии минимума годовых затрат.

Для систем Moodle и ILIAS будет требоваться предварительная закупка сервера, что изначально включено в единовременные расходы. Для собственной разработки в качестве годовых расходов заложено 10% от заработной платы сотрудника, её обслуживающего. На момент исследования заработная плата составляла 10 000 рублей в месяц. Для систем Moodle и ILIAS взяты минимальные предложения из проведенного исследования.

Формула для расчета:

$$П = C + E \times K[\text{руб./год}],$$

где C – годовые эксплуатационные затраты, руб./год; K – единовременные затраты, связанные с созданием и внедрением варианта информатизации, руб.; E – норма прибыли (информативная прибыльность), характеризующая отдачу от капиталовложений в соответствующей отрасли экономики, 1/год.

Расчеты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение планируемых годовых затрат

	Moodle	ILIAS	JoomlaLMS
С руб./год	54 000	122 400	30 225
К (руб)	150 000	150 000	40 300
Е (1/год)	10%		
П (руб)	69 000	137 400	34 225

Обслуживание СДО собственной разработки обойдется в 24 тыс. рублей в год:

$$12000 + 10\% \times 120000[\text{руб./год}] = 24000$$

Самой дешевой в годовом обслуживании получилась система собственной разработки. После сравнительного анализа систем и результатов оценки годовых затрат на использование системы дистанционного обучения было принято решение, что оптимальным вариантом является разработка собственной СДО.

Архитектура системы дистанционного обучения «Filin».

В качестве платформы разработки были выбраны бесплатные и общедоступные средства: веб-сервер Apache, язык программирования PHP, языки разметки HTML5 и возможности оформления CSS3.

В качестве шаблона проектирования была выбрана схема MVC. Model-View-Controller (MVC) – «Модель-представление-контроллер» – это схема, с помощью которой приложение разделено на три отдельных компонента: модель данных приложения, пользовательский интерфейс и взаимодействие с пользователем. Поэтому изменение одного из компонентов практически не оказывает никакого влияния на другие.

В итоге единственной точкой входа в наше приложение – контроллером – стал скрипт – `index.php`. Данный скрипт обрабатывает входные данные и отображает пользователю ту страницу, которую он запросил. При таком подходе от пользователя скрыты внутренние ресурсы системы, что ведет к большей безопасности приложения.

Визуализация данных (интерфейсные шаблоны) также отделены от основной бизнес-логики, поэтому, если потребуется изменение интерфейса, нам нужно будет лишь подставить новый шаблон.

Каждый модуль, описанный в техническом задании, выделен в отдельный файл. Если от модуля не зависят другие, то его можно безболезненно убрать из системы. Некоторые модули не могут работать без наличия других. Обычно это модули, расширяющие базовый функционал.

Разрабатываемая система состоит из следующих модулей:

– Модуль «Учебные курсы» включает в себя темы и лекционный материал, вопросы по данным лекциям, из которых формируются тесты по темам, и контрольные работы.

– Модуль «Администрирование» управляет правами доступа пользователей, а также справочниками, используемыми для работы системы,

– Новый модуль «Посещаемость» позволяет организовывать отслеживание за посещаемостью студентов очного отделения, строить отчеты по студенту, группе или вузу в целом;

– Модуль «Статистика» собирает информацию об активности пользователей системы и обо всех процессах, происходящих в ней.

Одной из задач, поставленных на этапе технического задания, было требование отображать пользователю лекционные материалы, методические указания для контрольных работ и прочие загруженные документы напрямую в браузере. Другими словами, для просмотра материалов пользователь не должен устанавливать никакого дополнительного ПО.

Google Docs позволяет встраивать собственный просмотрщик на любую страницу сайта и открывает любые документы очень быстро. Данный проект быстро развивается, и на настоящее время разметка до-

кументов сбивается только в старых форматах офисных документов. Плюсом, несомненно, является возможность просмотра на мобильных устройствах. То, как это выглядит в нашей системе, показано на рисунке 1.

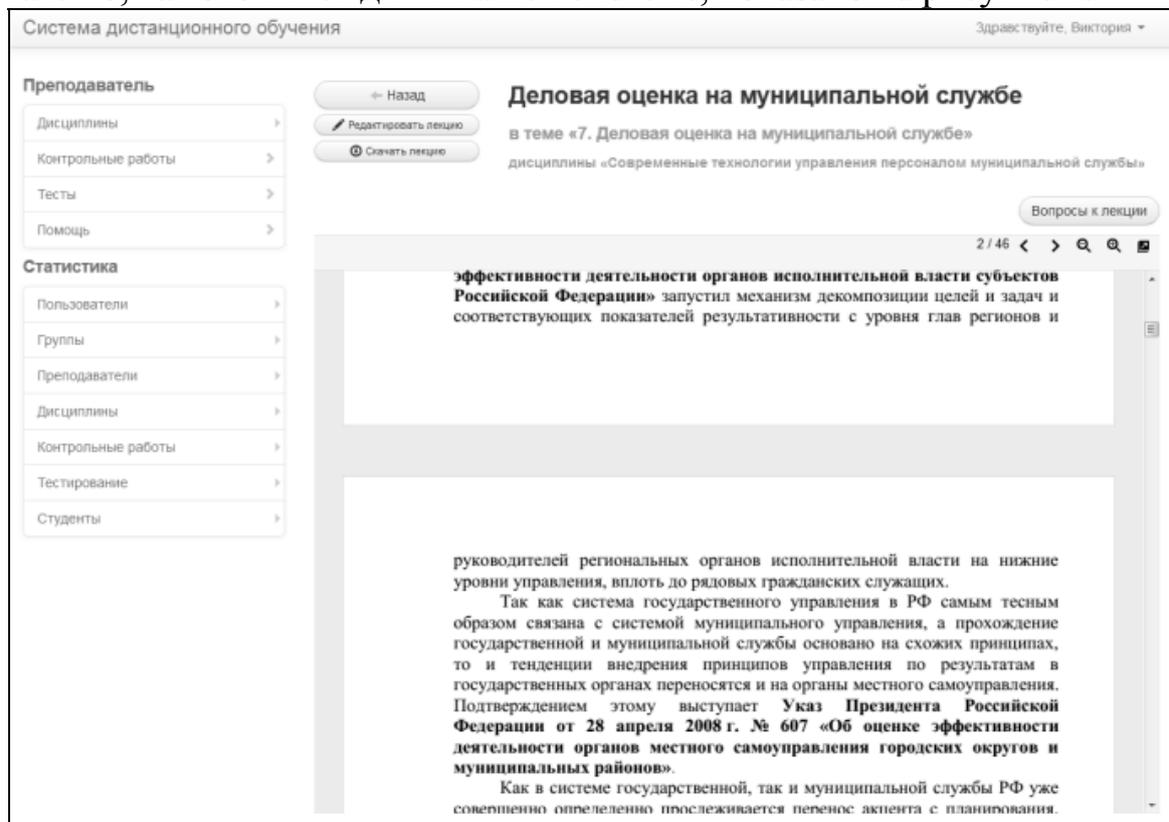


Рис. 1. Просмотр документов в СДО

Введенная система позволила сократить время, затрачиваемое сотрудником по приему контрольных работ. На заочном отделении обучается порядка 700 человек, и в среднем студент сдает контрольные работы по 5 предметам. Студенты часто сдают контрольные работы не с первого раза, преподаватели отправляют их на доработку и исправление. Получается, что в среднем специалист регистрирует до 7 000 контрольных работ за семестр. Разработанная система позволила регистрировать только проверенные и утвержденные у преподавателя контрольные работы, сократив количество регистраций более чем в 2 раза.

СДО сможет способствовать увеличению количества обучаемых на заочном отделении Филиала и может быть использована для создания нового направления в вузе – дистанционного образования. СДО упростит распространение образовательного материала среди обучающихся.

Система внедрена в эксплуатацию, и в настоящее время её используют около 100 преподавателей и более 1 200 студентов.

Таким образом, внедрение дистанционных технологий повысит конкурентоспособность филиала на рынке образовательных услуг Вологодской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Оптимизация учебного процесса в вузе на основе электронных информационно-образовательных технологий» [Интернет-ресурс] «Электронный научно-педагогический журнал». – Режим доступа: <http://www.emissia.org/offline/2006/1028.htm>.

ДИСТАНЦИОННОЕ КОРПОРАТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ: МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТАХ

А.Н. Швецов, Е.В. Сибирцев

Россия, Вологодский государственный университет

Корпоративное обучение становится неотъемлемой сферой деятельности большинства предприятий. Развитие мультимедийных технологий и доступности сети Интернет позволяет вовлекать всё большее количество сотрудников в процесс обучения без отрыва от рабочего места. Наличие большого количества открытых систем управления обучением (СУО), например Moodle, Sakai, ILIAS, позволяет использовать дистанционные средства без больших затрат на приобретение и внедрение системы, а также акцентировать силы и средства на разработке индивидуальных курсов, максимально удовлетворяющих потребности предприятия. Средства, сэкономленные на командировках, аренде помещений для проведения лекций и семинаров, зарплате лекторам и тренерам тратятся на тьюторов, контролирующих процесс обучения и доводящих его эффективность до необходимого уровня.

Следующим шагом в развитии СУО становится автоматизация максимально возможного количества функций тьютора без потери качества образовательного процесса. Уже давно существует возможность автоматического контроля над изучением лекционного материала. В системе Moodle это реализовано в виде структурированных лекций, где материал разбивается на страницы и переход к следующей из них возможен только после правильного ответа на контрольный вопрос по материалу, изложенному на предыдущей. Дистанционные семинары позволяют осуществлять перекрёстную оценку работ обучающимися, а адекватность оценок также влияет и на собственную успеваемость. В начале 2013 года в системе Moodle появилась возможность отображать или скрывать элементы курса в зависимости от успехов обучающегося (рис. 1). Данная возможность делает электронные курсы более гибкими, позволяя скрывать материалы следующих разделов от обучающихся, не

выполнивших контрольные работы по текущим темам, или же наоборот открывать доступ к дополнительному материалу тем, кто показывает отличные результаты.

▼ Ограничить доступ

Разрешить доступ с 19 ноября 2013 00 00 Включить

Запретить доступ после 19 ноября 2013 00 00 Включить

Проверка оценки (нет) Оценка должна быть как минимум % и меньше, чем %

Добавить проверок оценок - 2

Проверка выполнения элемента (нет) элемент должен быть отмечен как выполненный

Добавить проверок выполнения элементов - 2

Рис.1. Настройки ограничения доступа к элементу курса

Аналогичные подходы к адаптивному построению электронных курсов реализовывались и с применением нечётких сетей Петри [1], что давало возможность более гибкого предоставления доступа к материалам.

Дальнейшее развитие адаптивного подхода подразумевает подготовку учебных материалов нескольких уровней сложности по каждой из рассматриваемых тем. Они предлагаются учащемуся в зависимости от его уровня начальной подготовки и психоэмоционального состояния [2]. Например, если результаты психоэмоционального теста показывают подавленность и невнимательность учащегося, то уровень сложности предоставляемого учебного материала снижается. Материалы могут предлагаться учащемуся в зависимости от стиля обучения и педагогической стратегии [3], которые меняются исходя из уровня освоения компетенций.

В последние годы, когда корпоративное обучение всё чаще осуществляется без отрыва от производства, а курсы повышения квалификации проходят в соответствии с утверждёнными учебными планами, всё более актуальным становится критерий временных затрат на изучение элементов курса при определении эффективности обучения в целом. Методы, описанные выше, уделяют внимание только результатам выполнения элементов курса и никак не контролируют время, требующееся учащимся для достижения результата.

Для повышения эффективности обучения путём контроля времени, затрачиваемого на изучение курса, авторы предлагают использовать следующий метод.

Изначально у любой программы обучения, будь то курсы повышения квалификации или обучение сотрудников работе с новыми продуктами без отрыва от производства, есть общее время самостоятельной работы обучаемого (СРО) – Q_f . Путём экспертной оценки определяется время (Q_e), которое рекомендуется затрачивать на работу с электронным курсом в СУО (обычно 60-70% от Q_f). Далее устанавливается время прохождения каждого учебного модуля (S_k) либо равномерным разбиением, либо тьютором-экспертом (ТЭ). Таким же образом устанавливается время прохождения учебных единиц (УЕ) внутри каждого модуля (W_x).

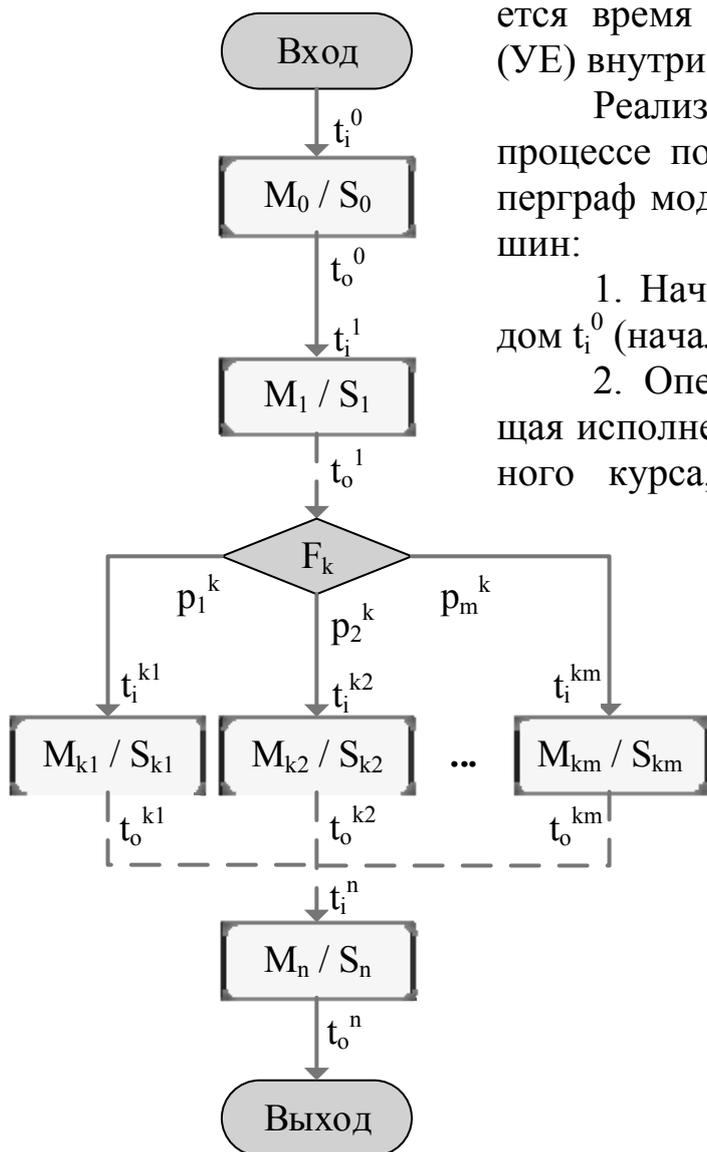


Рис.2. Гиперграф состояния модулей электронного курса

Реализация данного метода в учебном процессе показана на рисунках 2 и 3. Гиперграф модулей (рис. 2) имеет 4 типа вершин:

1. Начальная вершина с одним выходом t_i^0 (начало обучения).

2. Операторная вершина, обозначающая исполнение учебного модуля электронного курса, с одним входом и одним выходом (t_i^k, t_o^k) , $t_o^k > t_i^k$.

Имеет внутренний параметр S_k – время прохождения модуля, $S_k = Q_e / n + 1$ или устанавливается тьютором экспертом, причём $\sum S_k$ по каждому пути из M_0 до M_n должна быть равна Q_e . Для любого модуля $t_o^k - t_i^k = S_k$.

3. Условная вершина с одним входом, m выходами и формулой ветвления F_k .

4. Конечная вершина с одним входом t_o^n (окончание обучения).

Дуги переходов $t_0^k \rightarrow t_i^{k+1}$ связывают модули курса (выход предыдущего модуля и вход последующего). В численном выражении разность $t_i^{k+1} - t_0^k \geq 0$, начало изучения последующего модуля в общем случае может не совпадать с временем окончания изучения предыдущего модуля. Такая задержка может вводиться ТЭ по тем или иным педагогическим или техническим причинам. Также, чтобы уложиться в отведённое время обучения, должно соблюдаться следующее условие: $\sum(t_i^{k+1} - t_0^k) = Q_f - Q_e$.

Каждое состояние графа модулей описывается графом учебных единиц (рис. 3). Основным отличием от последнего является наличие трёх типов предикатов в условных вершинах.

Предикат T_y – индикатор прохождения контрольного задания в предшествующей ему УЕ. $T_y=0$, если балл за задание ниже порогового уровня; $T_y=1$, если балл за задание не ниже порогового уровня.

Предикат U_y – предикат желаний обучаемого продолжить изучение по минимальному уровню компетенций (т.е. отказ от дополнительных УЕ, представляющих дополнительный учебный материал, направленный на повышение компетенции). $U_y=0$, если обучаемый не желает перейти к изучению дополнительных УЕ; $U_y=1$, если обучаемый желает перейти к изучению дополнительных УЕ.

Предикат R – индикатор желаний обучаемого вернуться к изучению дополнительных УЕ. $R_y=0$, если обучаемый не желает возвращаться к изучению дополнительных УЕ; $R_y=1$, если обучаемый желает вернуться к изучению дополнительных УЕ.

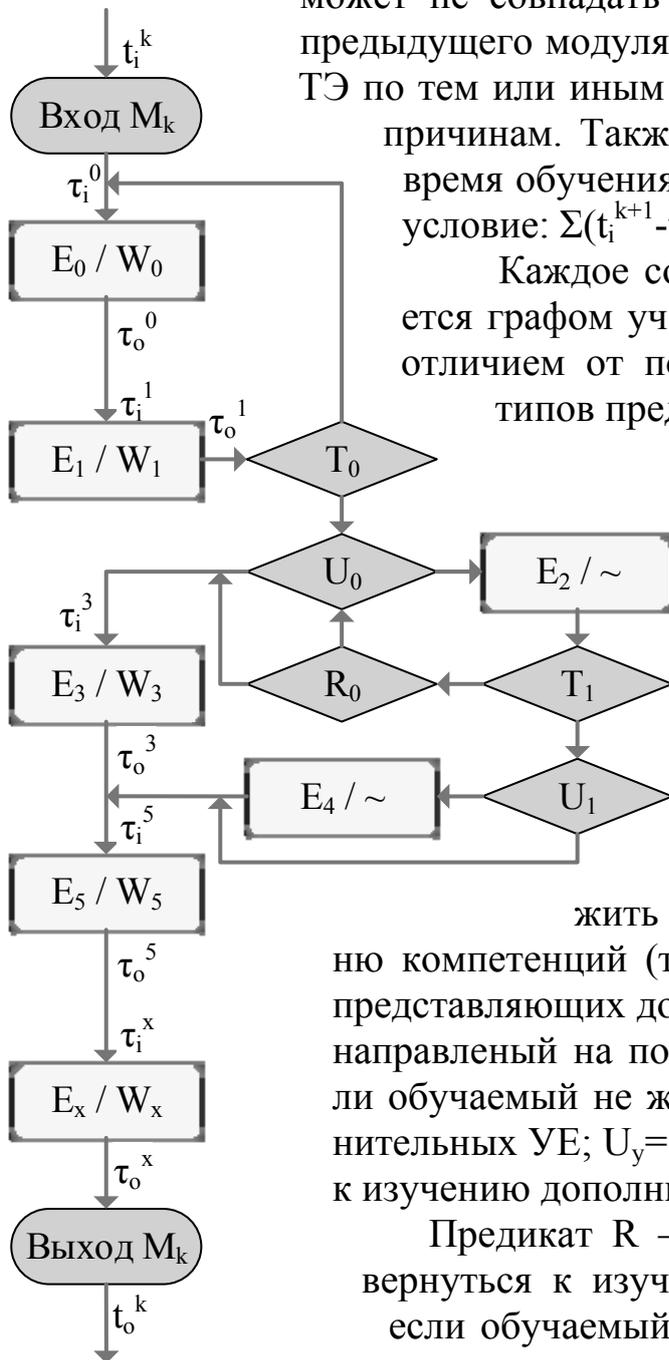


Рис.3. Гиперграф состояния учебных единиц

В первом приближении можно полагать, что временная разметка графа учебных единиц не выполняется, поскольку известны его временные границы t_i^k и t_0^k , а выполнение УЕ обучаемый синхронизирует самостоятельно.

В настоящее время разрабатывается плагин для СУО Moodle, реализующий описанный метод. Он позволит обучающимся лучше контролировать временные затраты на прохождение элементов курса, а тьюторам быть уверенным, что обучаемые не потратят большую часть времени, отведённого на весь курс, на прохождение минимального объема материала с максимальными баллами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Живенков, А.Н. Реализация информационной адаптивной системы обучения на базе LMS Moodle / А.Н. Живенков, О.Г. Иванова // Вестник Воронежского государственного университета, серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2010. – №2. – С. 124-128.

2. Малахова, Д.А. Определение психолого-когнитивных характеристик персонала в адаптивных системах повышения квалификации / Д.А. Малахова, А.П. Сергушичева [Электронный ресурс] URL: http://www.agsvologda.ru/download/Conf_2012/Malahova,%20Sergushicheva.pdf.

3. Morales-Rodríguez, M. L. Design of an Intelligent Agent for Personalization of Moodle's Contents / M. L. Morales-Rodríguez // Research in Computing Science. - 2012. – №56. – P. 11-17.

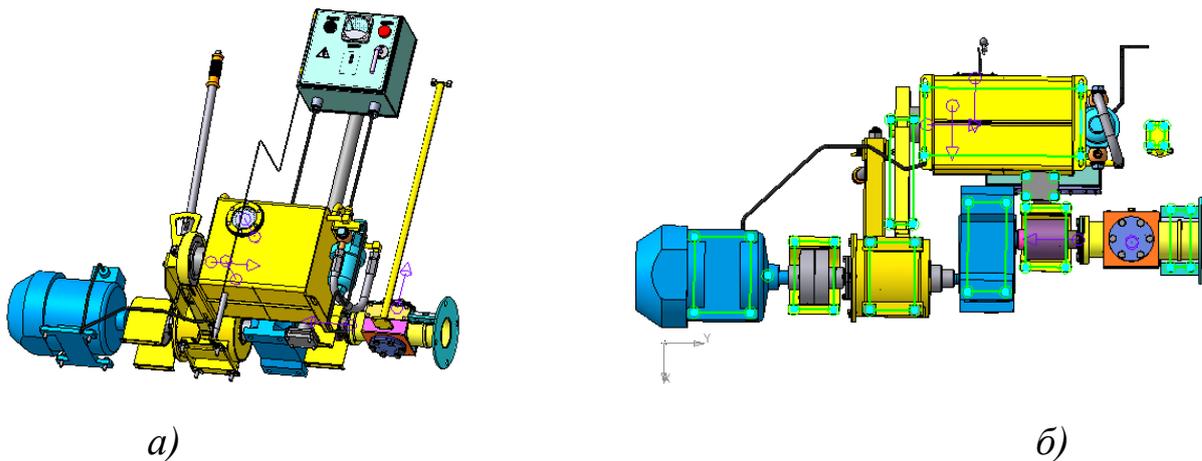
4. Швецов, А.Н. Концептуальные основы методологии построения интеллектуальных агентных сообществ / А.Н. Швецов // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта: Материалы 7-й межд. научно-техн. конф. - Вологда: ВоГТУ, 2013. – С. 211-215.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Б.А. Шкарин, Е.С. Занин, Е.Н. Невзоров, В.В. Яхричев
Россия, Вологодский государственный университет

Металлоконструкции широко используются во многих областях человеческой деятельности, причем большое многообразие их топологий и значений параметров является одной из причин недостаточной унификации, что приводит к высокой трудоемкости проектирования. Современные системы автоматизированного проектирования позволяют в значительной степени повысить эффективность проектирования металлоконструкций, однако практическое отсутствие методик создания унифицированных металлоконструкций не позволяет использовать все преимущества автоматизированного проектирования.

Создаваемая металлоконструкция может быть как отдельным машиностроительным изделием, так и входить в состав какой-либо его сборочной единицы. В первом случае конфигурация и геометрические параметры металлоконструкции определяются разработчиком на основании выполнения конструкторских проработок. Во втором случае топология и параметры металлоконструкции чаще всего зависят от размеров и положения других деталей и сборочных единиц машиностроительного изделия. Поэтому для разработки проекта металлоконструкции необходимо разместить эти детали и сборочные единицы в соответствии с выполняемыми ими функциями в изделии. Современные системы автоматизированного проектирования, использующие методы трехмерного моделирования, позволяют достаточно просто выполнить компоновку изделия. В качестве примера на рисунке 1а показана трехмерная компьютерная модель сборочных единиц, скомпонованных в мобильном буровом комплексе, для которого необходимо спроектировать основание в виде металлоконструкции, выполненной из швеллеров.



а) б)
Рис.1. Компьютерная модель компоновки оборудования бурового комплекса

Для выполнения этой задачи на основании опорных точек установочных элементов конструкции, полученных с помощью соответствующей проекции этой модели (рис. 1б), созданы компоновочный эскиз (рис. 2а) и схема металлоконструкции основания (рис. 2б), которая является набором образующих, на основе которых будут построены ее детали (швеллеры, уголки, профили и др).

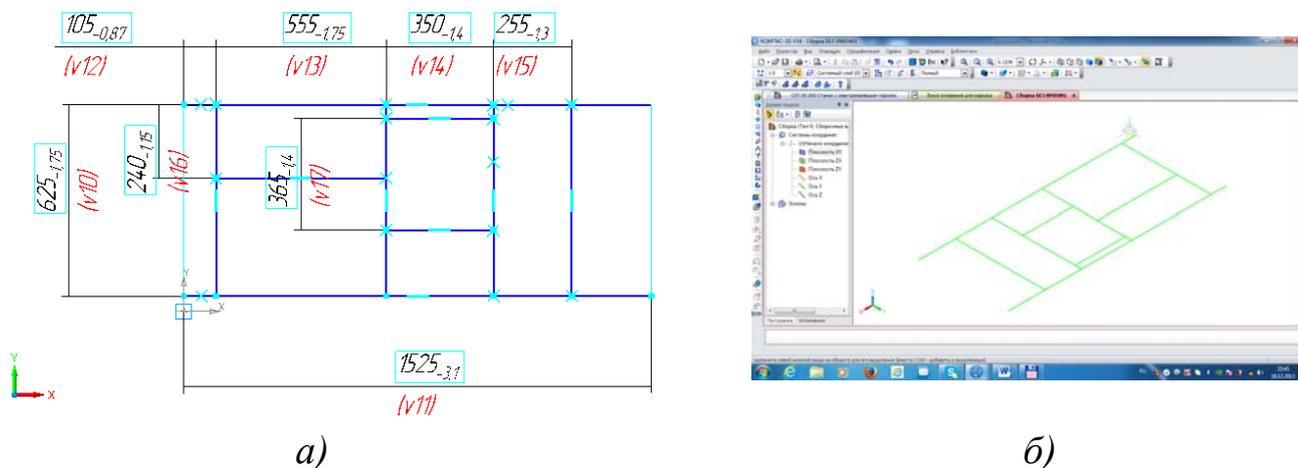
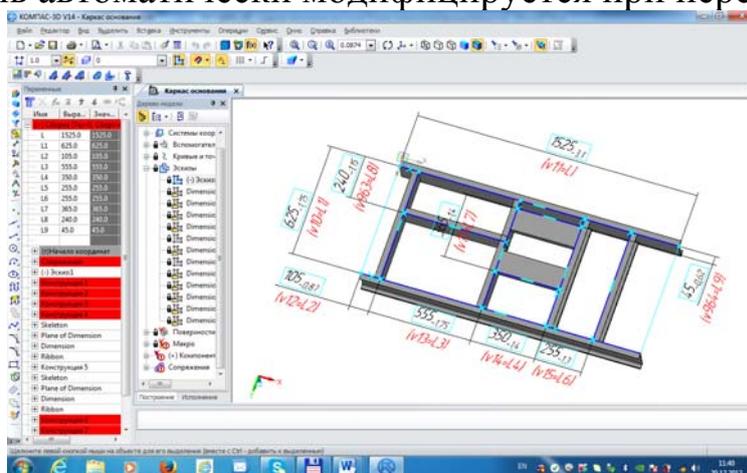
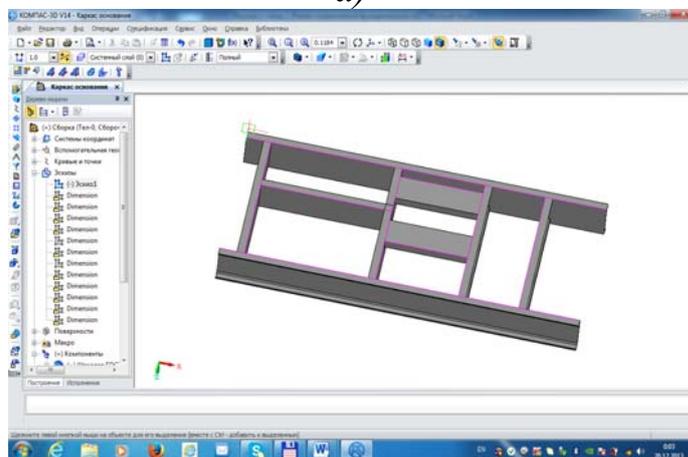


Рис. 2. Компоночный эскиз и схема металлоконструкции основания

На основании этой схемы в системе автоматизированного проектирования создана трехмерная модель металлоконструкции основания (рис. 3а). Причем размерным параметрам в этой модели присвоены переменные, что позволяет изменять их числовые значения (рис. 3б), после чего модель автоматически модифицируется при перестроении.



а)



б)

Рис.3. Трехмерная модель металлоконструкции основания

Кроме того, модели отдельных деталей металлоконструкции можно исключать из расчета, изменяя ее топологию. Такие возможности позволяют с помощью каждой модели унифицированной металлоконструкции оперативно создавать бесконечное множество моделей металлоконструкций, отличающихся как параметрами, так и структурой. Примеры такой унифицированной металлоконструкции и моделей представителей, полученных с ее помощью, показаны на рисунке 4.

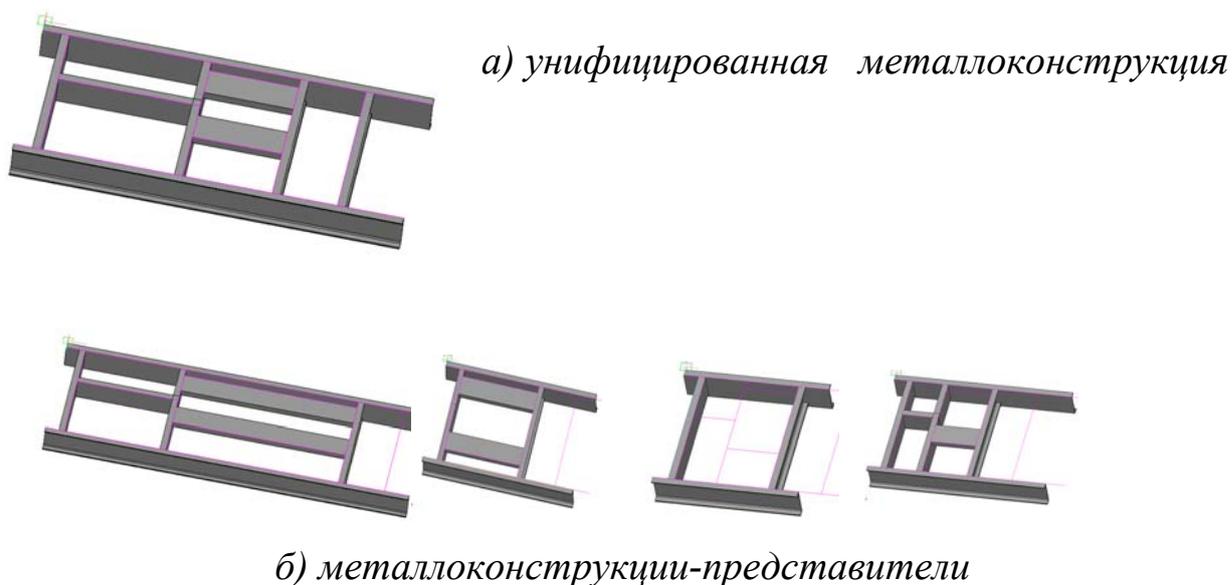


Рис. 4

Полученные модели металлоконструкций могут быть оперативно отредактированы и использованы как в качестве сборочных единиц в конструкциях машиностроительных изделий, так и в качестве отдельных изделий. Возможности современных систем автоматизированного проектирования металлоконструкций позволяют выполнять все необходимые конструкторские работы, такие как определение параметров металлоконструкции и выбор сортамента, определение положения элементов металлоконструкции в пространстве, выбор способов обработки деталей, отсечение или удлинение деталей, выполнение требуемой разделки торцов деталей, построение отступов торцов деталей, автоматическое создание спецификаций, ассоциативно связанных с моделями чертежей. На рисунке 5 показана модель бурового комплекса, основание в которой получено с помощью предложенной методики, а также разработана вся необходимая конструкторская документация для изготовления комплекса.

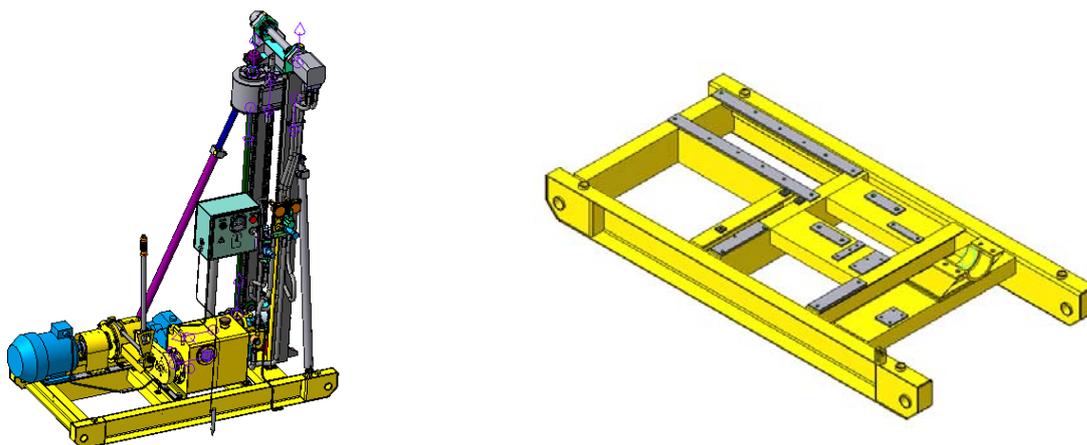


Рис. 5. Компьютерные модели бурового комплекса и его основания

Предложенная методика позволяет обеспечивать оперативную модификацию изделий, в которых используются металлоконструкции, с малыми затратами создавать параметрические библиотеки металлоконструкций и, как показали проведенные исследования и разработки, значительно сократить (иногда в десятки раз) трудоемкость автоматизированного проектирования конструкций изделий машиностроения, в которых используются металлоконструкции.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Б.А. Шкарин, В.М. Анфимов, И.А. Назарова
Россия, Вологодский государственный университет

Современные методы и системы автоматизированной подготовки программ для станков с ЧПУ, основанные на использовании методов трехмерного имитационного моделирования, позволяют значительно увеличить производительность процесса разработки программ. Однако при этом необходимо использовать трехмерную модель на технологической операции обработки детали на станке с ЧПУ. Традиционные методы разработки электронных трехмерных моделей деталей ориентированы в основном на создание конечной геометрии изделия без учета последовательности изменения формы и параметров в процессе изготовления моделируемых деталей. В этом случае промежуточные состояния модели не связаны с промежуточными этапами технологического про-

цесса изготовления изделия. Поэтому такую модель весьма проблематично использовать на соответствующих этапах производства, в том числе и для автоматизированной разработки программы обработки на станке с ЧПУ. Поэтому зачастую необходимую промежуточную модель приходится создавать заново, что является причинами появления ошибок и дополнительных трудозатрат в процессе подготовки производства. Для исключения этого недостатка необходимо создавать, так называемые технологические модели, в которых последовательность изменения формы и значений параметров модели в процессе ее разработки соответствует изменению формы и значений параметров детали в процессе ее изготовления. Тогда каждое промежуточное состояние модели может быть получено «откатом» в дереве построения, а также созданием соответствующих конфигураций модели. Трехмерная модель, используемая для автоматизированной подготовки программ для обработки детали на станке с ЧПУ, отличается от соответствующего состояния промежуточной модели размерами, определяемыми серединой поля допуска на каждый размер. Поэтому соответствующее состояние промежуточной модели дорабатывается путем изменения ее размеров. Причем создание унифицированных трехмерных технологических моделей позволяет унифицировать процесс автоматизированной подготовки программ для станков с ЧПУ.

Задача унификации процесса автоматизированной разработки программы для обработки детали решается следующими методами:

1. Методом адресации путем использования программы, созданной для унифицированной так называемой комплексной детали, путем исключения отдельных технологических этапов изготовления детали в этой программе.

2. Методом синтеза путем использования набора относительно простых программ, созданных для обработки унифицированных, относительно простых типовых фрагментов обрабатываемых деталей, с помощью которых синтезируется программа обработки заданной детали.

Причем как в первом, так и во втором случае используются унифицированные трехмерные технологические модели комплексных деталей и их типовых элементов.

Прежде всего, необходимо отметить, что использование метода синтеза для автоматизированной разработки программ требует создания унифицированных технологических моделей типовых фрагментов обрабатываемых деталей, что значительно усложняет задачу создания интерфейса для автоматизированного формирования программ, а также

сам процесс создания программ разработчиком. Поэтому в данной статье основное внимание уделено методу адресации.

Использование метода адресации включает следующие основные этапы:

1. Классификацию и группирование обрабатываемых деталей по конструкторско-технологическим признакам.

2. Создание комплексной детали для каждой группы деталей, которая включает конструктивно-технологические признаки всех деталей каждой группы, а ее размерные параметры выражены в виде переменных.

3. Разработку унифицированной трехмерной технологической модели для каждой комплексной детали.

4. Разработку унифицированных программ для обработки комплексных деталей с использованием унифицированных трехмерных технологических моделей для каждой комплексной детали.

5. Создание пользовательского графического интерфейса, позволяющего редактировать унифицированную трехмерную технологическую модель комплексной детали в соответствии со структурой и численными значениями переменных заданной детали.

6. Использование полученной трехмерной модели комплексной детали для разработки программы ее обработки в системе автоматизированной подготовки программ.

На рисунке 1а приведен пример унифицированной трехмерной технологической модели комплексной детали «Тубус», на рис. 1б - модели деталей-представителей этой группы.

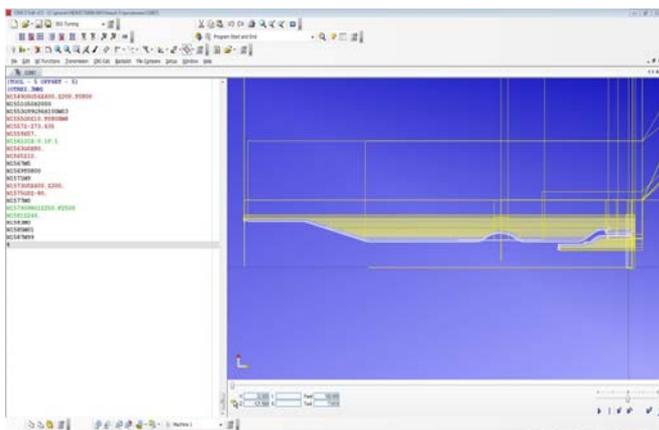


а) комплексная деталь

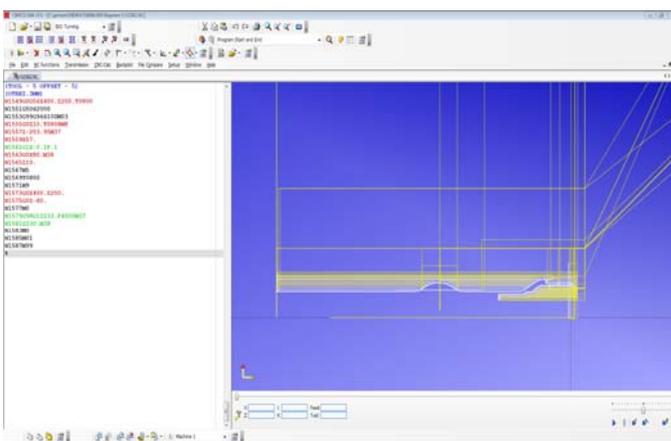
б) детали-представители

Рис.1. Технологические модели деталей

На рисунке 2 показаны результаты компьютерной верификации разработанных по приведенной методике программ.



а) деталь «Тубус»
с патрубком



б) деталь «Тубус» без патрубка

Рис.2. Траектории и программный код обработки деталей

На рисунке 3 представлены отдельные этапы процесса автоматизированной разработки программы в системе MasterCAM.

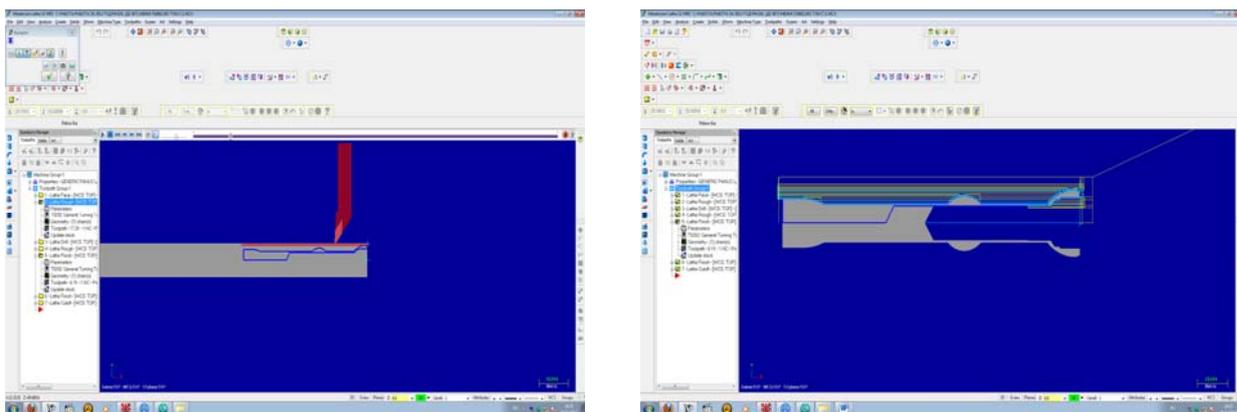


Рис. 3. Иллюстрация этапов процесса автоматизированной разработки программы в системе MasterCAM

Проведенные исследования показали, что использование предложенной методики позволяет более чем на 50% сократить

временные затраты при автоматизированной разработке программ для станков с числовым программным управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкарин, Б.А. Создание унифицированных трехмерных моделей деталей в системах автоматизированного управления жизненным циклом изделий / Б.Шкарин, Ю.Мокрецов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – С. 23-27.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ ВУЛКАНИЗАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК

С.А. Шлыков

Россия, Вологодский институт права и экономики ФСИН России

Ю.Р. Осипов

Россия, Вологодский государственный университет

Эксплуатационные качества многослойных армированных оболочек улучшаются не только конструктивными и технологическими мерами, но и применением новых синтетических каучуков и высокодисперсных наполнителей. Важную роль в получении резин с требуемыми техническими свойствами играют вулканизирующие системы, в частности ускорители вулканизации [1].

Особенности технологической обработки резиновых смесей, необходимость обеспечения синхронной вулканизации слоев предъявляют к вулканизирующим системам для резин ряд специфических требований. Основным требованием является сочетание высокой вулканизационной активности с надежной защитой резиновых смесей от преждевременной вулканизации. Другими словами, вулканизирующие системы должны обеспечить высокую скорость протекания реакций структурирования в главном периоде вулканизации и малую скорость в начальной стадии этого процесса. Поэтому несмотря на то, что многие органические соединения, принадлежащие к классу тиазолов, тиокарбаматов, гуанидинов, ксантогенатов и др., обладают способностью ускорять процесс вулканизации каучука серой, перечень ускорителей вулканизации, пригодных для промышленного производства, весьма ограничен. Поэтому проблема вулканизации — разработка эффективных вулканизирующих систем и, в частности, ускорителей — приобретает особое значение.

Ускорители вулканизации наряду с интенсификацией взаимодействия каучука с вулканизирующим веществом — серой оказывают суще-

ственное влияние на характер образующихся связей, соединяющих молекулярные цепи каучука в пространственную структуру, тем самым в значительной степени определяя свойства резин. Несмотря на многочисленные исследования механизм действия ускорителей недостаточно исследован. Весьма ограничены сведения о структурных факторах, определяющих эффективность и кинетические особенности действия ускорителей [1, 2].

Для изыскания и разработки эффективных вулканизирующих систем, применяемых в резинах, потребовалось изучение механизма действия ускорителей вулканизации.

Широкое применение бутадиен-стирольных полимеров, вулканизирующихся значительно медленнее натурального каучука, потребовало использования более активных вулканизирующих систем. Эффективными для этих каучуков явились сульфенамидные ускорители N, N-диэтил- и N-циклогексил-2-бензтиазолилсульфенамиды. При изучении причин особой эффективности этой группы соединений были выявлены характерные особенности действия сульфенамидных производных 2-меркаптобензтиазола как ускорителей вулканизации.

При исследовании системы каучук (бутадиен-стирольный)+ускоритель установлено, что в температурных условиях вулканизации указанные сульфенамидные ускорители в отсутствие элементарной серы оказывают самостоятельное структурирующее (вулканизирующее) действие на каучук. Это вулканизирующее действие констатировано по увеличению модуля, потере растворимости и уменьшению максимума набухания образцов резиновых смесей с увеличением продолжительности нагревания в вулканизационном процессе. В подвергнутых нагреванию двухкомпонентных смесях каучук+N,N-диэтил-2-бензтиазолилсульфенамид (сульфенамид БТ) установлено наличие химически связанных с каучуком серы и азота, а также 2-меркаптобензтиазола и диэтиламина. Эти результаты позволяют представить механизм структурирующего действия сульфенамидных ускорителей вулканизации в отсутствие серы.

Протекание процесса с присоединением радикалов ускорителей к молекулам полимера подтверждается накоплением в каучуке связанной серы и связанного азота и изменением при нагревании свойств смеси каучук+ускоритель пропорционально расходу ускорителя [1]. Имеется наличие прямой корреляции между способностью каучуков различной структуры к взаимодействию с образующимися в результате диссоциации ускорителей радикалами и эффективностью протекающих реакций структурирования (рис. 1).

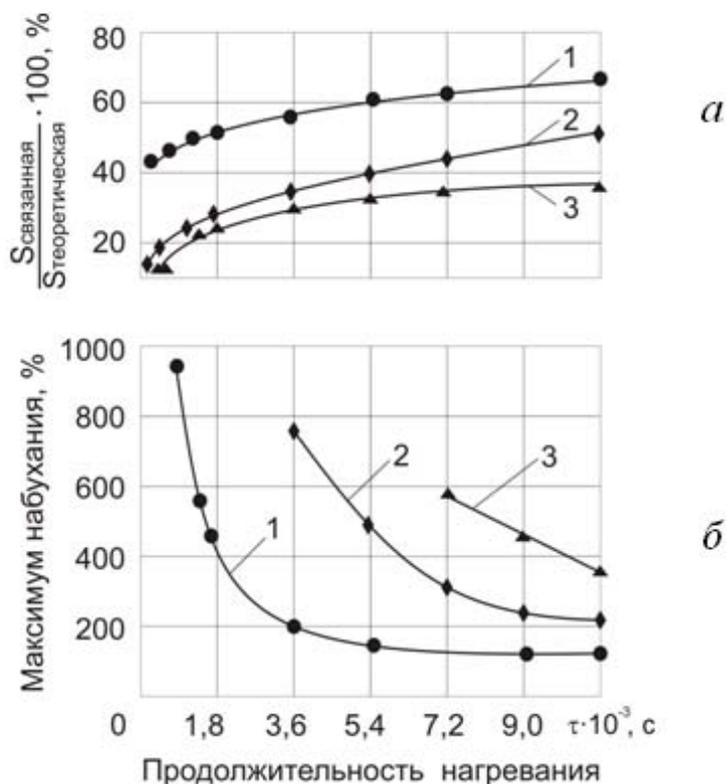


Рис. 1. Кинетика присоединения тиобензтиазолильных (RS) групп (а) и эффективность структурирования (б) при взаимодействии ДБТД (5,0 вес. ч.) с различными каучуками при 416 К:
 1 – натрийбутадиеновый; 2 – бутадиен-стирольный;
 3 – натуральный

Оба направления реакций приводят к образованию полимерных радикалов. Предположительно, такие радикалы, взаимодействуя между собой или с двойными связями других молекул каучука, образуют поперечные С—С связи пространственной структуры вулканизата.

При вулканизации в присутствии серы радикалы, возникающие в результате термической диссоциации ускорителей, очевидно, способны непосредственно взаимодействовать с серой, раскрывая ее восьмиатомные молекулярные группировки.

Экспериментально установлено, что исследуемые ускорители в процессе вулканизации выполняют двоякую роль: активаторов серы и активаторов каучука. Образующиеся при диссоциации ускорителей свободные радикалы ускоряют процесс вулканизации через стадию взаимодействия с вулканизирующим веществом, благодаря которому последний переводится в активное состояние, и через стадию взаимодействия с кау-

чуком, что в том и в другом случае приводит к возникновению химических поперечных связей между молекулярными цепями каучука.

В связи с представлением о радикальном механизме действия ускорителей вулканизации интерес представляло выявление роли окислов металлов как активаторов процесса вулканизации [8, 9]. Взаимодействие бутадиен-стирольного каучука с вулканизирующим веществом, например серой, в присутствии сульфенамидных ускорителей вулканизации протекает интенсивно и в смесях, не содержащих окислов металлов (рис. 2).

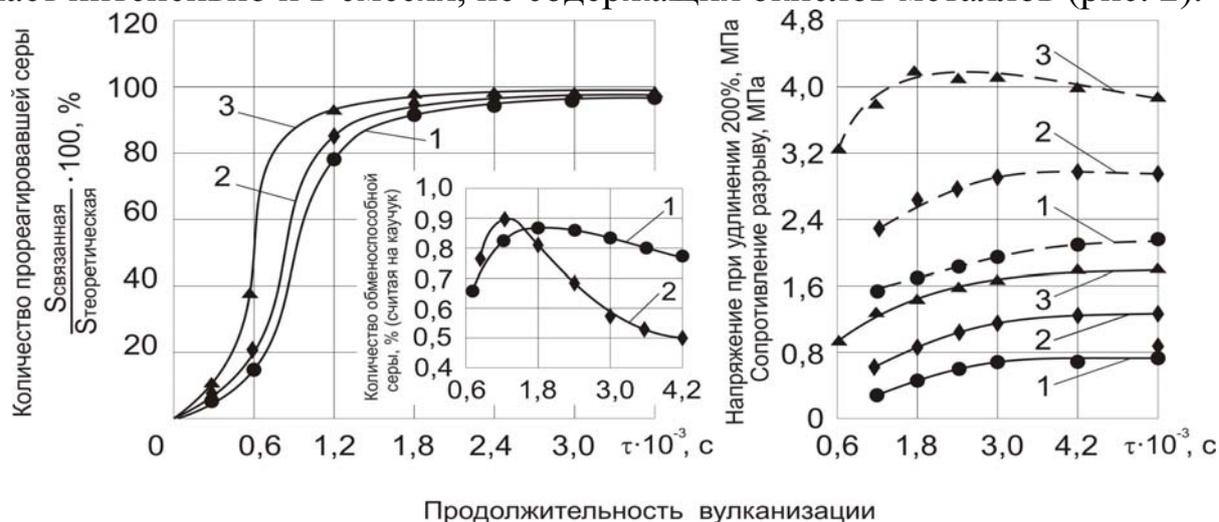


Рис. 2. Вулканизация ненаполненных смесей из каучука СКС-30А в присутствии сульфенамида БТ:

1 – без активатора; 2 – с окисью цинка; 3 – с гидратом окиси кальция.
 ———— - напряжение при удлинении 200%;
 - - - - - сопротивление разрыву

Однако при практически одинаковом количестве прореагировавшей серы в присутствии окислов металлов достигается значительно больший эффект структурирования. Наблюдаемое повышение густоты вулканизационной сетки является результатом участия окислов металлов в реакциях преобразования первоначально возникающих полисульфидных связей в поперечные связи меньшей сульфидности. Выявлено также, что активаторы существенно влияют (в зависимости от применяемого окисла) и на характер образующихся вулканизационных структур [10].

Можно считать установленным, что активаторы (окислы металлов) в присутствии сульфенамидных ускорителей вулканизации участвуют в формировании вулканизационных структур, увеличивая количество образуемых поперечных связей.

Следовало ожидать, что протекающие в присутствии сульфенамидов реакции взаимодействия с каучуком определенным образом влияют

на характер вулканизации смесей с этими ускорителями под действием серы и на свойства получаемых вулканизатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фельдштейн, М.С. Исследования в области вулканизации шинных резин / М.С. Фельдштейн, Б.А. Догадкин, И.Г. Бескина, Э.Н. Беляева // в кн. Пневматические шины (исследования по проблеме повышения качества). - М.: Химия, 1969. – 392 с.

2. Поляков, О.Г. Повторные вулканизаты из резиновой крошки / О.Г. Поляков, А.М. Чайкун // Обзор. Производство резино-технических и асбесто-технических изделий. - М., ЦНИИТЭнефтехим, 1993. – 32с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Яковлева

Россия, Вологодский институт права и экономики ФСИИ

Ю.Р. Осипов, Е. А. Сергеева

Россия, Вологодский государственный университет

Принимая решение об использовании энергии электромагнитных полей (ЭМП) в каком-либо технологическом процессе, необходимо иметь информацию о достижимом повышении качества продукции, связанного с таким энергоподводом, и об экономичности предполагаемого технологического усовершенствования [1-4]. Поэтому желателен способ оценки, позволяющий сопоставить по энергоемкости различные варианты энергоподвода без проведения сравнительных испытаний. Энергетическая эффективность замены кондуктивного нагрева энергоподводом от ЭМП может быть рассчитана по известным тепловым и электрофизическим свойствам обрабатываемых сред.

Сравним два процесса: в одном случае энергия поступает от теплового источника, т.е. на границе раздела нагреваемой среды действует градиент температуры, в другом – энергия подводится через границу раздела в виде потока энергии ЭМП.

В общем виде закон сохранения энергии при кондуктивном нагревании среды, в которой не содержится внутренних источников и стоков энергии, можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \operatorname{div} q, \quad (1)$$

где $w = \rho c \Delta T$ - изменение внутренней энергии среды, т.е. ее нагрев, выражающийся в изменении температуры T (К), при неизменных значениях плотности ρ (кг/м³) и удельной теплоемкости c (кДж/(кг * К)); $q = X \text{ grad } T$ -поток тепловой энергии, поступающий через границу раздела при независимости от температуры теплопроводности среды X (кДж/(м * К)).

Тот же закон при передаче энергии от электромагнитного поля имеет вид

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \text{div} S + p, \quad (2)$$

где $S = [E * H]$ - плотность потока электромагнитной энергии, которая определяется напряженностями электрического E (В/м) и магнитного H (А/м) полей; p - часть мощности поля, теряемая при распространении в поглощающей среде и преобразуемая во внутреннюю энергию среды.

Преобразование энергии поля во внутреннюю энергию поглощающей среды определяется факторами ее диэлектрических и магнитных потерь по следующему соотношению:

$$p = 0,5 \varepsilon_0 \varepsilon'' \omega \langle E^2 \rangle + 0,5 \mu_0 \mu'' \omega \langle H^2 \rangle, \quad (3)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная; $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная; ω - круговая частота, рад/с; угловые скобки означают усреднение напряженностей за определенный период времени; ε'', μ'' - факторы соответственно диэлектрических и магнитных потерь.

Энергию ЭМП различные среды поглощают как через магнитную, так и электрическую составляющие в зависимости от их диэлектрических и магнитных свойств. Большинство же сред, перерабатываемых в химической и родственных технологиях, имеют в той или иной мере диэлектрические и проводящие свойства, а магнитных свойств практически не проявляют. Следовательно, в химической и родственных технологиях поглощение энергии поля происходит за счет электрической составляющей ЭМП. Поэтому в предположении, что вся энергия ЭМП, проникающего через границу раздела, поглощается в среде, закон сохранения энергии можно представить следующим образом:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = 0,5 \varepsilon_0 \varepsilon'' \omega \langle E^2 \rangle, \quad (4)$$

Рассмотрим два отдельно протекающих процесса нагревания некоторого тела, форма, тепловые и электрофизические свойства которого на этом этапе могут быть произвольными. В первом случае тепловая энергия сообщается телу кондуктивно путем поддержания определенной разности температур его поверхности и внутренних слоев, во втором – энергией ЭМП, т.е. тело помещается в специальное устройство (волновод, резонатор, конденсатор и т.п.), в котором создано и поддерживается ЭМП с круговой частотой ω и напряженностью электрическо-

го поля E . Эти параметры характеризуют объемную плотность мощности поля в выбранном устройстве

$$S = 0,5\epsilon_0\omega(E^2). \quad (5)$$

В случае кондуктивного нагрева рассматриваемого тела при условии независимости его теплопроводности от температуры выражение закона сохранения энергии (1) может быть записано в виде

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T, \quad (6)$$

где ∇^2 - оператор Лапласа.

Допустим, что в обоих случаях мощности источников энергии одинаковы. Разделим почленно уравнение (3) на уравнение (6) и, учитывая принятое допущение, получим:

$$\frac{0,5\epsilon_0\epsilon''\omega(E^2)}{\lambda \nabla^2 T} = 1. \quad (7)$$

Соотношение (7) выражает отношение скорости нагревания единицы объема среды, происходящее в результате поглощения в ней энергии ЭМП, к скорости изменения теплосодержания такой же единицы объема в результате поддержания на границе тела теплового потока, возникающего за счет разности температур поверхности и внутренних слоев. Это отношение можно изменить, поддерживая неизменным отношение мощностей источников нагревания. Изменение возможно за счет варьирования в соотношении (7) величин, выражающих свойства нагреваемой среды, и геометрии нагреваемого тела: фактора диэлектрических потерь ϵ'' , теплопроводности λ и длины пути теплопроводности l , т.е. толщины прогреваемого слоя.

Очевидно, что интенсификация процесса нагрева энергией ЭМП энергетически оправдана, если такой способ, по крайней мере, не уступает по эффективности кондуктивному, т. е. в одинаковых по производимым энергозатратам условиях сообщается нагреваемому телу в единицу времени не меньшее количество тепловой энергии. В этом случае отношение (7) должно быть больше единицы.

Обозначим левую часть выражения (7) коэффициентом β и определим минимальную его величину которая удовлетворяет требованию большей эффективности нагрева энергией ЭМП в сравнении с кондуктивным.

Для выработки и передачи потребителю 1 кВт-ч электроэнергии необходимо затратить примерно 10 МДж теплоты. Это определяется величиной коэффициента полезного действия низкотемпературного термодинамического цикла, который в настоящее время близок к 33 % для большинства тепловых и атомных электростанций [5]. Следовательно, для экономии ископаемого топлива при применении электроэнергии для нагрева необходимо, чтобы отношение (7) было больше трех. Если же

применяется не просто электроэнергия, а энергия ЭМП, необходимо учесть коэффициент полезного действия оборудования, генерирующего ЭМП и превышение стоимости этого оборудования над стоимостью кондуктивных нагревателей. Стоимость энергии поля в СВЧ диапазоне превышает стоимость сетевой энергии ориентировочно в 7-10 раз [2].

Предположим, что стоимость энергии поля СВЧ в 10 раз выше сетевой. Это значит, что коэффициент β не должен быть меньше тридцати.

Выразим оператор Лапласа в знаменателе выражения (7) через температуры и длины пути, на котором это отношение приращения приращение происходит:

$$\beta = \frac{0,5\varepsilon_0\varepsilon''\omega(E^2)}{\lambda\nabla^2T} = \frac{\varepsilon''0,5\varepsilon_0\omega(E^2)}{\lambda \nabla^2T} \approx \frac{\varepsilon''l^2 0,5\varepsilon_0\omega(E^2)}{\lambda \Delta T} > 30. \quad (8)$$

В результате этого преобразования произвольность формы нагреваемого слоя утрачивается, т. е. далее рассматривается плоский слой нагреваемой среды толщиной l . При этом полагается линейное изменение температуры по глубине, что также «огрубляет» модель. Принятые упрощения не вносят значительных погрешностей в рассматриваемую модель качественной оценки.

В принятой с этими поправками модели значение коэффициента ρ , выразив его через определяющие величины, можно представить формулой

$$\beta = \frac{\varepsilon''l^2 0,5\varepsilon_0\omega(E^2)}{\lambda \Delta T} > 30. \quad (9)$$

Разбиение коэффициента β на два сомножителя позволяет выделить в формуле (9) отдельные комплексы параметров, относящиеся к свойствам нагреваемых сред (левый сомножитель) и интенсивности сравниваемых источников. Задав коэффициент β удовлетворяющим соотношению (9), можно определить, каким условиям должны удовлетворять геометрия прогреваемого материала (т.е. характерная толщина прогреваемого слоя l) его теплопроводные (λ) и электрофизические (ε'') свойства на заданной круговой частоте поля ω , чтобы выполнялось условие большей эффективности нагрева энергией ЭМП в сравнении с кондуктивным. При выполнении условия (9) обеспечивается экономия топлива для данного процесса, т. е. процесс удовлетворяет условию эффективности по энергозатратам. Если не находится удовлетворяющих условию (9) свойств, то из полученного соотношения можно получить сведения о том, как нужно изменить частоту и напряженность поля, чтобы обеспечить необходимое значение коэффициента β . Следует отметить, что фактор диэлектрических потерь конкретной среды зависит от частоты, поэтому изменение этого параметра в источнике энергии затрагивает и величину первого сомножителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов, Ю.Р. Использование предварительного СВЧ-нагрева в производстве гуммированных объектов / Ю.Р. Осипов, Д.Н. Шестаков // Информационные технологии в производственных, социальных и экономических процессах: Материалы II международной науч. конф. – Череповец: ЧГУ, 1999.- С. 186-187.

2. Шаталов, А.Л. Интенсификация тепломассообменных процессов электромагнитным полем сверхвысокой частоты / А.Л. Шаталов. Автореф. дис.... д-ра техн. наук. М.: МГУИЭ, 1999. -53 с.

3. Осипов, Ю.Р. Направления сокращения энергозатрат в гуммировочном производстве / Ю.Р. Осипов, Д.Н. Шестаков // Вузовская наука- региону: Материалы общероссийской науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2003.- С. 52-55.

4. Осипов, Ю.Р. Методика расчета распределения мощности внутренних источников теплоты в гуммировочных покрытиях при термической обработке электромагнитным полем сверхвысокой частоты / Ю.Р. Осипов, Д.Н. Шестаков, С.Ю. Осипов // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства: Материалы IV международной науч.- техн. конф.- Череповец: ЧГУ, 2003.- С.309-311.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Яхричев

Россия, Вологодский государственный университет

Модальный анализ используется для определения собственных частот и форм колебаний механических систем, является важной составной частью всякого динамического анализа, поскольку знание фундаментальных форм и частот колебаний конструкции помогает оценить ее динамическое поведение. Результаты анализа дают возможность установить число форм колебаний и шаг интегрирования по времени, что может обеспечить надежное решение задачи о динамическом поведении системы в неустановившемся режиме. Кроме того, некоторые методы получения решения для переходных процессов нуждаются в результатах модального анализа. Модальный анализ можно выполнять как для ненагруженной конструкции, так и вслед за нелинейным статическим расчетом.

Модальный анализ – это решение задачи о свободных (невывужденных), затухающих или незатухающих, колебаниях дискретной системы, которая описывается уравнением [1]:

$$[M] \{u''\} + [C] \{u'\} + [K] \{u\} = \{F(t)\}, \quad [1]$$

где $[M]$ – матрица масс;
 $[C]$ – матрица сопротивлений;
 $[K]$ – матрица жесткостей;
 $\{u''\}$ – вектор узловых ускорений;
 $\{u'\}$ – вектор узловых скоростей;
 $\{u\}$ – вектор узловых перемещений;
 $\{F\}$ – вектор нагрузок;
 (t) – время.

Этому уравнению придается форма, соответствующая задаче о собственных значениях:

$$([K] - \omega^2 [M]) \{u\} = 0,$$

где ω^2 (квадрат собственной частоты) – собственное значение; $\{u\}$ (собственные формы, не являющиеся функциями времени) – собственные формы колебаний.

Применение модального анализа полезно во всех приложениях, в которых представляет интерес значения собственных частот системы. Например, детали и узлы оборудования следует конструировать так, чтобы избежать их возбуждения на одной из собственных частот в условиях эксплуатации.

В качестве примера приводится исследование динамического поведения противопыльного кожуха вертикального шпинделя четырехстороннего фрезерно-калевочного станка LMC-840 PL.

Предпосылкой для исследования стала авария, возникшая при работе станка LMC-840 PL. Анализ особенностей механических повреждений деталей станка позволил сделать вывод, что повреждения возникли из-за столкновения противопыльного кожуха с ножами фрезы. Для выявления причины аварии был выполнен модальный расчет в программе инженерного анализа.

Анализ кожуха показал, что наиболее опасная по величине приведенной массы (см. рис. 3) частота собственных колебаний кожуха – 115,21 Гц (третья мода (форма) колебаний) (см. рис. 1; рис. 2) – оказалась очень близкой к частоте вращения шпинделя – 100 Гц (6000 об/мин = 100 Гц).

Это обусловило возникновение в процессе работы станка резонансных колебаний противопыльного кожуха, а следовательно, вызывало высокую амплитуду этих колебаний, достаточную для накопления усталости металлом кронштейна крепления кожуха в области концен-

трации напряжений (на линии сгиба кронштейна), вследствие чего последовал отлом кронштейна и падение кожуха на вращающуюся фрезу.

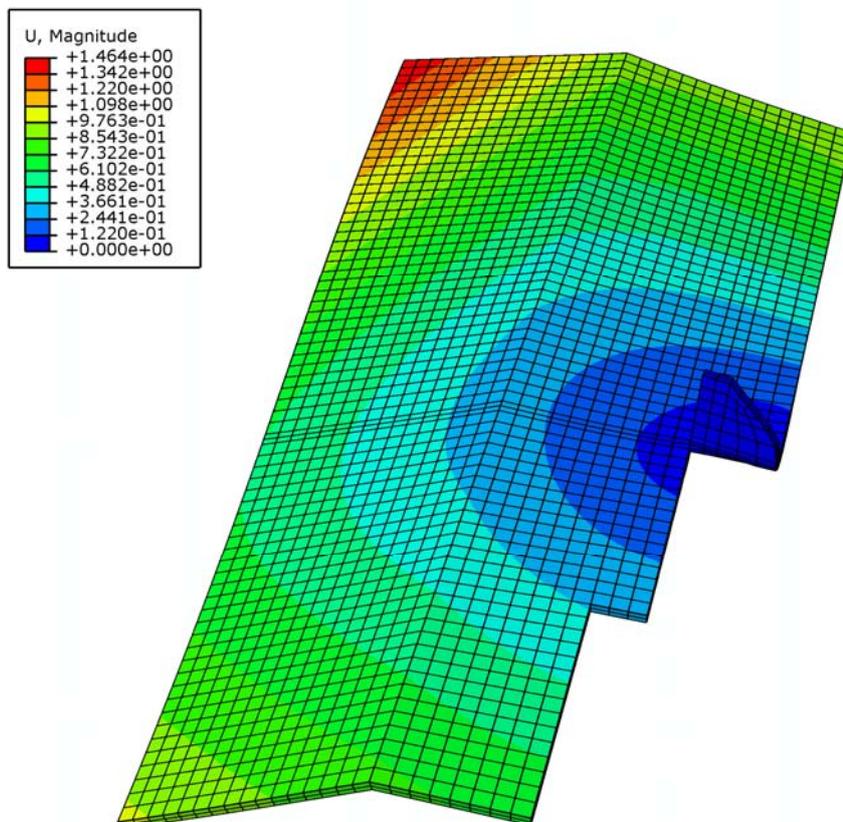


Рис.1. Результаты конечноэлементного моделирования собственных частот колебаний противопыльного кожуха (представлена третья мода (форма) колебаний кожуха)

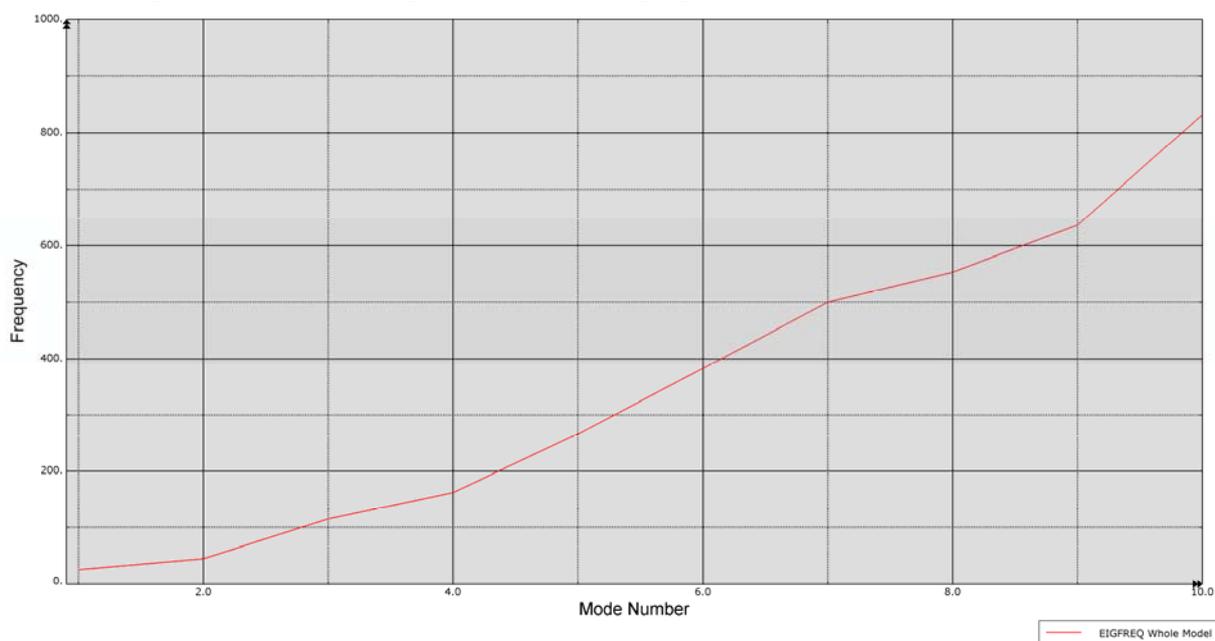


Рис.2. Результаты конечноэлементного моделирования собственных частот колебаний противопыльного кожуха (представлен график собственных частот колебаний кожуха)

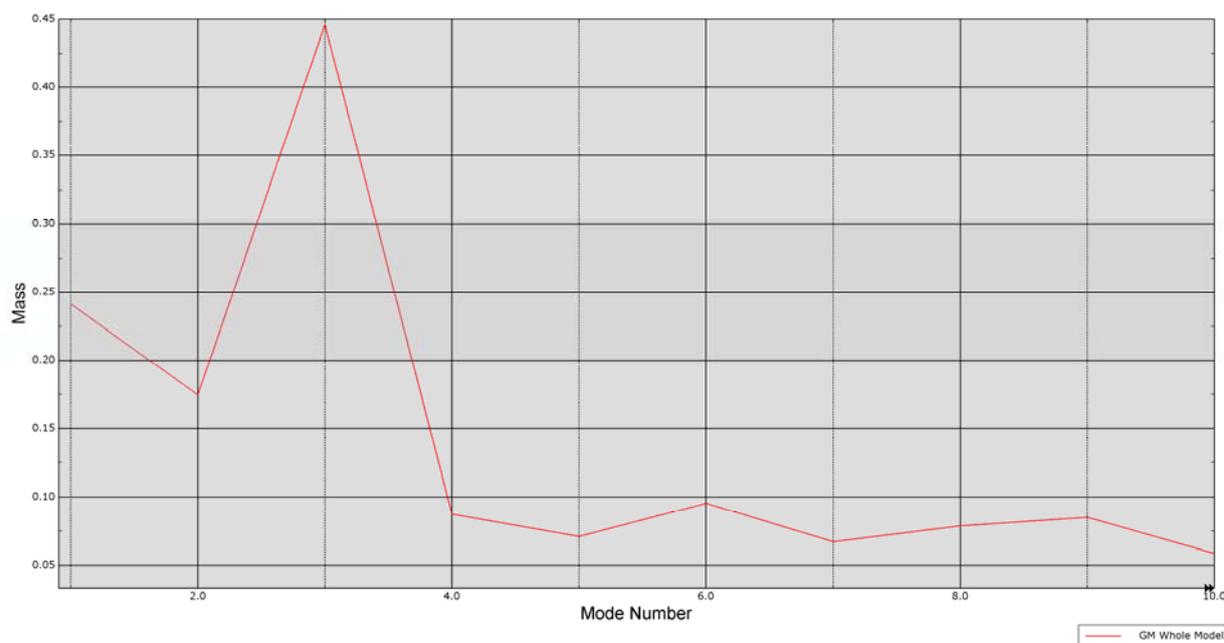


Рис.3. Результаты конечноэлементного моделирования собственных частот колебаний противопыльного кожуха (представлен график приведенных масс для каждой из собственных частот колебаний кожуха)

На основе выполненного моделирования был сделан окончательный вывод о причине повреждения кожуха – противопыльный кожух упал на вращающуюся фрезу из-за отлома кронштейна его крепления вследствие недостаточной конструктивной прочности и усталостной выносливости данного кронштейна, а также возникавших высокоамплитудных резонансных колебаний противопыльного кожуха благодаря близости одной из наиболее опасных частот его собственных колебаний к частоте вращения шпинделя станка, рядом с которым кожух был расположен.

Представленный практический пример использования модального анализа демонстрирует его значимость в проектировании оборудования как на стадиях предварительной проработки конструкции, так и на последующих стадиях жизненного цикла изделия.

СОДЕРЖАНИЕ

Авдеев Ю.М., Осипов С.Ю., Шлыков С.А. Модернизация поточно-автоматизированной линии по производству гуммировочных покрытий.....	6
Александров И.К. Правило десяти моментов холостого хода механической передачи	10
Антонова Ю.В., Лукин С.В., Шестаков Н.И. Увеличение производительности нагревательной печи за счет использования физической теплоты стальных слитков	14
Аншелес В.Р., Ильичева Е.М. Ресурсосбережение в инновационных проектах производств минеральных удобрений.....	18
Аншелес В.Р., Яшалова Н.Н. Решение проблем эколого-энергетического характера – основа развития промышленности области	21
Ахремчик О.Л., Сантос М.Р. Анализ подходов к моделированию процессов истечения мелкодисперсных пищевых сыпучих продуктов из бункеров объемных дозаторов	25
Бабкин П.В., Карпенко И.В. Ремонт трубопроводов по технологии бесшовной непрерывной формовки изнутри существующих	29
Бахтенко Е.А., Измайлов И.А. Новые возможности информационной поддержки на промышленном предприятии при формировании эксплуатационной документации	33
Богачев Д.В., Варфоломеев И.А., Ершов Е.В. Построение нейро-нечеткой модели управления установкой контролируемого охлаждения листа.....	37
Богомолов А.А. Повышение механизации уборки снега на дорогах, тротуарах и дворовых территориях с помощью снеготаятельной техники.....	41
Булавин В.Ф., Булавина Т.Г. Схемоанализ в методе конечных элементов	45
Галиновский А.Л., Моисеев В.А., Абашин М.И., Хафизов М.В., Проваторов А.С. К проблеме оценки ресурса износостойких покрытий и их сопоставительного анализа	50
Гарбер Э.А. Основные результаты исследований и разработок научной школы прокатчиков Череповецкого государственного университета (2000-2013 гг.)	55
Гарбер Э.А., Тимофеева М.А., Дилигенский Е.В., Дятлов И.А. Выявление резервов энергоэффективности дрессировочных станов для повышения конкурентоспособности производства холоднокатаных стальных листов	59
Глазков В.А., Назарова И.А., Назаров И.В. Контрольное устройство для ориентации деталей с неясно выраженными ориентирующими признаками	64

Гусев А.В. Алгоритм управления электроприводом подъема кранового механизма по методу АКАР	67
Демин А.А., Титов И.А. Применение прессовых соединений с промежуточной деформируемой втулкой при автоматизации сборочных процессов	71
Денисов И.Е., Суконщиков А.А. Применение байесовских методов при решении задачи распознавания образов	74
Ершов Е.В., Виноградова Л.Н., Трифанова Е.В., Варфоломеев И.А. Оптимизация температурных режимов сушки полимерного покрытия на поверхности металлической полосы	77
Зайцева Н.М. Оптимальное управление энергоемким нелинейным производством на основе себестоимости его продукции	77
Измайлов И.А., Бахтенко Е.А. Работа информационных агентов в составе сети промышленного предприятия	85
Кажан В.Е., Медяник Б.С. Повышение надежности и эффективности электромеханических систем путем оптимизации технического обслуживания	89
Казанцев А.А. Повышение энергоэффективности электролизной ошиновки	93
Карпов С.В., Загоскин А.А. О методике аэродинамического расчета рециркуляционных циклонных устройств	95
Кассов В.Д., Семенов В.М., Иванык А.В. Совершенствование электрошлаковых технологий в машиностроении	101
Кибардин А.Н., Лукин С.В. Комплексное использование теплоты жидкой стали, разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок	105
Колпаков В.Н. Определение углов сдвига фаз работы клапанов и плунжера поршневой гидравлической машины	108
Костромин С.В. Лазерная резка листовой стали обыкновенного качества	111
Куваев В.Ю., Каряка М.Ю., Нежурин В.И., Николенко А.В., Омельницкий П.Н. Математическое моделирование распределения энергии в объеме рабочего пространства рудовосстановительной электропечи	114
Кудрявцева А.К., Сеницын Н.Н. Математическая модель прогрева непродуваемого плотного слоя угольного шлама	116
Куликова Н.В., Редько А.А. Термодинамическая модель теплоутилизатора на тепловых трубах	122
Ларин В.А., Ларин А.В. Разработка и внедрение проекта «официальный портал правительства Вологодской области» на cms «IC-Битрикс» фирмой ЦИТ «Троя»	125
Натареев О.С., Новацкий Э.В., Натареев С.В. Математическое моделирование процесса сушки влажного материала в камерной сушилке проточного типа	128

Нежурин В.И., Хаботина О.А., Емчицкий В.Т., Сиваченко В.М. <i>Применение статистических методов при моделировании технологических процессов в рудовосстановительных печах</i>	133
Одинцов К.Э., Кондрашева Ю.Н., Маслов Л.А., Николаев А.А. <i>Методика расчета надежности электрооборудования.....</i>	137
Осипов С.Ю., Бормосов Н.А., Осипов Ю.Р., Иванова С.В., Душинов А.Н. <i>Тепломассоперенос при сушке клеевого покрытия.....</i>	142
Осипов Ю.Р., Дымов Н.Э. <i>Теоретический анализ процесса теплообмена между поверхностью и слоем в аппаратах интенсивного действия</i>	146
Осипов С.Ю., Осипов Ю.Р., Бормосов Н.А., Смирнов Е.С., Душинов А.Н. <i>Система управления процессом теплообмена при термообработке гуммировочных покрытий</i>	150
Осипов С.Ю., Осипов Ю.Р., Волкова С.В. <i>Методика расчета кинетики неизотермической вулканизации и выбора технологических режимов термообработки</i>	153
Осипов С.Ю., Осипов Ю.Р., Бормосов Н.А., Панфилова О.А. <i>О выборе варианта технологического комплекса с минимальными энергозатратами</i>	156
Пеганов Н.В., Сергеев Е.О., Осипов Ю.Р. <i>Экономические критерии и минимализация расхода энергии путём применения системного метода построения взаимосвязанных иерархических структур критериев оптимальности</i>	161
Петринчик В.А., Смирнова Н.В., Царев А.С. <i>Совершенствование коммунальной теплоэнергетики малых населенных пунктов путем оптимизации системы «Топливный брикет – транспорт – котельная».....</i>	165
Полетаев В.П., Микрюкова О.И. <i>О критериях эффективности системы восстановления работоспособности</i>	167
Полянский А.М., Смирнова Е.А., Смирнов А.А. <i>Модель процесса синхронизированного ведения справочников управленческого и бухгалтерского учета на предприятии</i>	170
Разживин А.В., Бережная Е.В. <i>Система автоматизации процесса управления тепловым режимом электроконтактной наплавки.....</i>	174
Раков В.А. <i>Средства диагностирования технического состояния гибридных силовых установок</i>	177
Раков В.А. <i>Результаты испытаний гибридных силовых установок различных схем по циклу движения P-I.0</i>	181
Раков В.А. <i>Результаты исследования рекуперации гибридной силовой установки</i>	186
Русанова В.В., Осипов Ю.Р., Кузьмина М.С. <i>Об адаптивных системах управления технологических процессов</i>	191
Синицын Н.Н., Домрачев Д.А. <i>Изучение процесса прогрева плотного слоя коры деревьев с целью последующей утилизации</i>	194
Синицын Н.Н., Драчева В.Н. <i>Прогрев одиночного куска угля в условиях сушки в пневматической трубе-сушилке.....</i>	198

Синицын А.А., Монаркин Н.Н., Роголина Т.В. Теоретические исследования по выбору регенеративной насадки в энергосберегающих устройствах для вентиляции помещений	202
Синицын А.А., Никифоров О.Ю. Итоги мониторинга результатов интеллектуальной деятельности вуза средствами информационной системы.....	206
Титов В.С., Бобырь М.В., Нассер А.А. Анализ мягких нечетко-логических систем управления	210
Титов В.С., Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Нечетко-логическое управление автоматизированными системами	213
Храмшин В.Р., Карандаева О.И., Храмшина Е.А., Петухова О.И., Мамлеева Ю.И. Анализ силовых схем высоковольтных преобразователей частоты	215
Швецов А.Н., Хрянин Е.Л. Использование систем дистанционного обучения для корпоративного обучения	220
Швецов А.Н., Сибирцев Е.В. Дистанционное корпоративное обучение: методы повышения эффективности при минимальных затратах.....	224
Шкарин Б.А., Занин Е.С., Невзоров Е.Н., Яхричев В.В. Методика автоматизированного создания унифицированных металлоконструкций изделий машиностроения.....	228
Шкарин Б.А., Анфимов В.М., Назарова И.А. Автоматизированная разработка программ для станков с ЧПУ с использованием унифицированных имитационных моделей обрабатываемых деталей.....	232
Шлыков С.А., Осипов Ю.Р. Факторы, влияющие на скорость вулканизации многослойных армированных оболочек.....	236
Яковлева А.А., Осипов Ю.Р., Сергеева Е.А. Энергетическая эффективность использования энергии электромагнитного поля для интенсификации теплообменных процессов	240
Яхричев В.В. Применение модального анализа при исследовании динамических характеристик деталей и узлов промышленного оборудования.....	244

Научное издание

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ
И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ**

Материалы
девятой международной научно-технической конференции

Оригинал-макет подготовлен О.С. Першиной

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 06.03.2014.
Формат 60×84 1/16. Бумага офисная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,7.
Тираж 100 экз. Заказ № .

Отпечатано: ИП Киселев А.В.
г. Вологда, Пошехонское шоссе, 18