

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)

Наука–Образование–Производство

Материалы региональной научно-практической
конференции НТИ (филиал) УрФУ

8 февраля 2013 г.

В двух томах

ТОМ 2



Нижний Тагил
2013

УДК 0
ББК Ч21

Наука-Образование-Производство [Электронный ресурс] : материалы региональной науч.-практ. конф. (8 февраля 2013 г., г. Нижний Тагил) в 2 т. Т. 2 / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2013. – 123 с.

В сборнике представлены материалы научно-практической конференции преподавателей и студентов НТИ (филиал) УрФУ, затрагивающие актуальные вопросы металлургии, специального и общего машиностроения, химических технологий, строительства и архитектуры, моделирования технических процессов, прикладной механики, экономики, экологии и безопасности жизнедеятельности. В сборнике представлены отчеты аспирантов и студентов о проделанной совместно с их руководителями научно-исследовательской и практической работе.

Материалы могут быть полезны специалистам промышленных предприятий и организаций, а также студентам.

УДК 0
ББК Ч21

Организационный комитет конференции:

Председатель: Пегашкин В.Ф.
Зам. председателя: Воротников В.И., Павлов Н.В.
Члены оргкомитета: Дубинина В.Г., Гоман В.В., Демин С.Е., Докучаев С.В., Думачева А.В., Иванушкин В.А., Литвиненко Н.А., Миронова М.В., Наумов И.В., Сафонов Е.Н., Титова Е.Ю., Шибанова Л.Н., Щербинин М.М., Хмельников Е.А. и др.

Научное издание

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА

Материалы
региональной научно-практической конференции
НТИ (филиал) УрФУ

В двух томах

Компьютерная верстка: *Н.В. Павлов*

© ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2013
© Авторы статей, 2013

**Уральский федеральный университет
Имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Нижнетагильский технологический
институт (филиал)**

СЕКЦИИ:

- ❖ **Машиностроение и металлообработка**
- ❖ **Системы автоматизации технологических процессов**

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

УТИЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ: МИРОВОЙ ОПЫТ И ЗАДАЧИ РФ

*Кузнецова Е.Ю., д.э.н., Акулова А.А., аспирант, г. Екатеринбург
Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина*

В настоящее время в мире глобальными и приоритетными стали проблемы экологии, ресурсо- и энергосбережения. Автотранспорт и автомобильная промышленность представляют угрозу для окружающей среды не только отходами производства, выбросами при эксплуатации, но и необходимостью утилизации отслуживших свой срок автомобилей. В связи с интенсивным ростом и одновременно старением автопарка нашей страны, актуальным стал вопрос об организационно-технологической схеме утилизации автотранспорта.

Для решения этой проблемы необходимо обратить внимание на уже накопленный положительный опыт стран, преуспевших в данном вопросе. Одними из первых проблемы утилизации автотранспорта стали решать в Германии, что можно объяснить высокой степенью автомобилизации населения страны – 530 а/м на 1000 чел. (в РФ этот показатель на уровне 250). В настоящее время в Германии 19 действующих предприятий по производству автомобилей, которые выпускают 5,9 млн. а/м в год (занимают с этим показателем 5 место в мире).

Отходы, полученные при производстве, эксплуатации и после наступления предельного срока использования транспортного средства, долгое время складировались или сливались в реки (в случае жидких отходов). Стоит отметить, что с точки зрения немецкого законодательства, под отходами понимают «движимые предметы, от которых желает избавиться владелец, надлежащая утилизация которых сохранит благополучие общества, в частности защитит окружающую среду». [2].

Однако в 1994 году немцы описали систему целеполагания для Fahrzeug Recycling, согласно которой выделяют пять мотивов утилизации:

1. Отработавшие автомобили содержат вещества и детали, которые при их обновлении можно использовать повторно, т.е. они обладают остаточной стоимостью.

2. Для производства автомобиля необходимо сырье, энергия рабочая сила и капитал. Система переработки для повторного использования

позволяет сэкономить ограниченные ресурсы и получить большую часть материалов и энергии из отходов.

3. Снижается негативное воздействие на окружающую среду через снижение вредных и опасных веществ, попадающих в почву.

4. Снижаются расходы на содержание и организацию свалок.

5. Защита природного ландшафта путем снижения объемов складированных отходов.

Эти пять мотивов легли в основу закона Германии «О сокращении количества, утилизации и ликвидации отходов». [2]

В 2008 году выходит директива, послужившая поправками к закону, рассматривающая долгосрочную политику в области отходов до 2020 года. В краткой форме основные положения содержат следующее:

– Увеличение объемов переработки для повторного использования благодаря обязательному разделению бумаги, стекла, пластика и металлов.

– Определение понятия «Recycling» как процесса использования отходов в производстве.

– Разделение отходов и побочных продуктов.

По статистическим данным Союза инженеров-автомобилестроителей (SAE) усредненный автомобиль имеет массу 1390 кг, полный период его эксплуатации 12 лет, полный пробег 190 тыс. км. За это время автомобиль потребляет 14 т топлива и 200 л масла, выделяет в атмосферу 52 т отработанных газов.

В настоящее время отходы автотранспортных средств в странах Евросоюза формируются в самостоятельный поток. Обращение с ними четко регламентируется нормативно-правовыми актами и контролируется государственными органами, регулируется экономически, т.е. предприятия несут ответственность за переработку выпущенной ими продукции. Необходимые средства на переработку отходов выделяются государством и аккумулируются в специальных экологических фондах на местном и федеральном уровнях. [1]

VW AG и Toyota добились на сегодняшний день лучших результатов в области решения данной проблемы, благодаря внедрению новых технологий при производстве лакокрасочных изделий и термопластиков, доля перерабатываемых материалов достигла 85% от общей массы. Кроме того, повторное использование возможно не только после дробления и переработки, технологически и конструктивно сложные детали проходят восстановительные операции и поступают в продажу.

Возвращаясь к данной проблеме в рамках РФ, с учетом изложенного опыта зарубежных производителей, становится ясно, что в общем виде схема Recycling представляет собой систему мер по управлению движением потоков отходов транспортного средства и их комплексной утилизации. Вариант такой схемы представлен на рисунке 1:

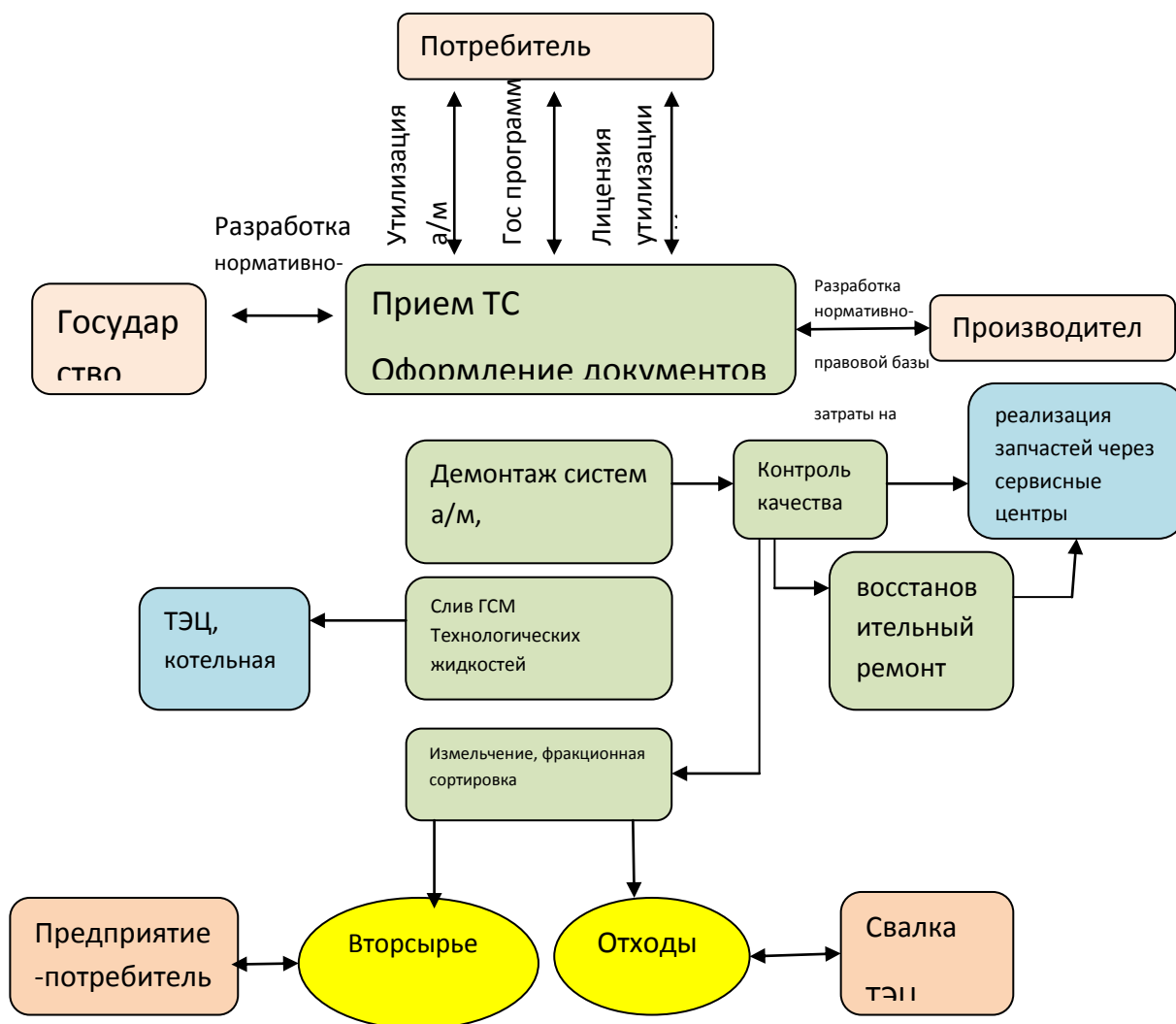


Рис. 1. Организационная схема предприятия по утилизации отходов ТС

По данной схеме можно сделать следующие практические выводы:

- проектируемое предприятие должно стать связующим звеном в цепочке «производитель-потребитель-государство» путем разработки единой нормативно-правовой базы, регулирующей имущественные отношения процесса утилизации ТС;

- данная схема предусматривает не только государственную программу утилизации ТС, но и утилизация ТС после ДТП, брошенных автомобилей на автостоянках ГИБДД, а также утилизацию автомобилей зарубежного производства, при помощи получения лицензии производителя (опыт Toyota, Citroen, VW);

- основным проблемным местом является проработка связей предприятия изготовителя – предприятия по переработке – предприятия потребителя вторсырья. Эта проблема ресурсосбережения и эффективного использования входит в число 5 целей мирового рециклинга.

– Необходимо создание отлаженной работы сервисных центров с перерабатывающими предприятиями для обеспечения рынка запчастями, пригодными к использованию с утилизируемого транспортного средства (опыт Toyota, VW).

Библиографический список

1. Денисов В.Н., Рогалев В.А. Проблемы экологизации автомобильного транспорта. – СПб.: МАНЭБ, 2003, 213 с.
2. Hans Martens, Recyclingtechnik Fachbuch für Lehre und Praxis, Heidelberg, 2011.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТА МАРКИ Т-ЗА

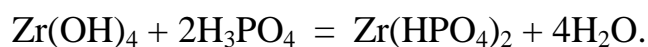
*Гурина Т.С., ассистент каф. химии НТИ (филиал) УрФУ,
Шумалкина Т.В., государственный инспектор Федеральной службы по
экологическому, технологическому и атомному надзору*

Физико-химические свойства фосфата циркония (IV) как перспективного неорганического адсорбента, катионообменника и катализатора, получаемого традиционным методом осаждения, исследованы достаточно подробно. Свойства продукта существенным образом зависят от состава, характеризуемого атомным отношением \bar{P}/\bar{Zr} , условий получения и обезвоживания геля, а также степени кристалличности. Для стехиометрического фосфата циркония (IV) отношение $\bar{P}/\bar{Zr} = 2$ и этому соединению приписывают формулу $Zr(HPO_4)_2 \cdot xH_2O$. Кристаллический α -фосфат циркония (α -ZrP) имеет строгий стехиометрический состав и обладает слоистой структурой. Большинство циркониево-фосфатных гелей имеют аморфную или полукристаллическую структуру и образованы из фрагментов кристаллического α -ZrP.

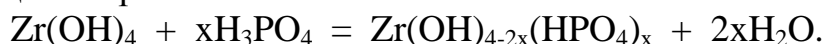
Для получения фосфата циркония (IV) в виде сферических механически прочных гранул в работе [1] был предложен золь-гель метод синтеза, состоящий из следующих основных стадий: получение золя гидроксида циркония (IV) электролизом раствора хлорида циркония (IV), капельного диспергирования золя в раствор аммиака с образованием гель-сфер гидроксида циркония (IV), конвертирования гель-сфер гидроксида циркония (IV) в фосфат циркония (IV), отмывки и сушки гель-сфер фосфата циркония (IV).

Основной стадией рассматриваемого метода, а также золь-гель процессов, предложенных другими авторами, является стадия конвертирования или стадия обработки гель-сфер гидроксида циркония (IV) раствором фосфорной кислоты, приводящей к превращению гель-сфер гидроксида циркония (IV) в гель-сферы фосфата циркония (IV).

Проведение золь-гель процесса вообще стало возможным из-за того, что на стадии конвертирования не происходит разрушение гель-сфер. Это связано со слоистым строением гидроксида и фосфата циркония (IV). В соответствии с моделью [2] слои гидроксида циркония (IV) образованы тетрамерными ионами, связанными друг с другом гидроксильными группами, расположенными выше и ниже плоскости слоя. В результате каждый атом циркония окружен восемью гидроксильными группами в форме искаженного куба. Гидроксильные группы, расположенные выше и ниже слоя из ионов циркония, замещаются на моногидрофосфатные ионы без существенного изменения положения ионов циркония в слое, что обеспечивает целостность гель-сфер. Процесс конвертирования можно рассматривать как кислотно-основное взаимодействие, описываемое выражением:



Химический состав продукта без учета кристаллизационной воды обычно характеризуют отношением $\bar{r} = \frac{\bar{P}}{\bar{Zr}}$, где \bar{P} и \bar{Zr} количество молей фосфат ионов и ионов циркония в продукте. Величина \bar{r} продукта взаимодействия зависит, прежде всего, от соотношения реагирующих веществ, то есть атомного отношения $r = \frac{P}{Zr}$ в исходной смеси, где P и Zr - количество молей фосфорной кислоты в растворе и соответственно гидроксида циркония в гель-сферах. Для исследования [3] сорбента использованы гель-сферы гидроксида циркония (IV), имеющие следующие характеристики: концентрация гидроксида циркония 1,2 моль·л⁻¹ значение pH маточного раствора, равное 5,5, диаметр гранул 0,6-1,5 мм и влажность 62 мас.%. К определенному объему гель-сфер приливали равный объем (Т:Ж=1:1) раствора фосфорной кислоты в присутствии 0,4 моль·л⁻¹ HCl, изменяя величину r от 1,0 до 2,0. Смесь выдерживали при перемешивании в течение 4 часов при температуре 80-85°C. При этом происходит практически полное взаимодействие фосфорной кислоты, и состав конечного продукта определяется составом исходной смеси. Даже при r = 2 фосфорная кислота реагирует более чем на 99 %. Поскольку при любых величинах \bar{r} фосфат ионы в фосфате циркония (IV) присутствуют в виде моногидрофосфата (HPO₄)²⁻, процесс конвертирования для r < 2 может быть описан с помощью выражения:

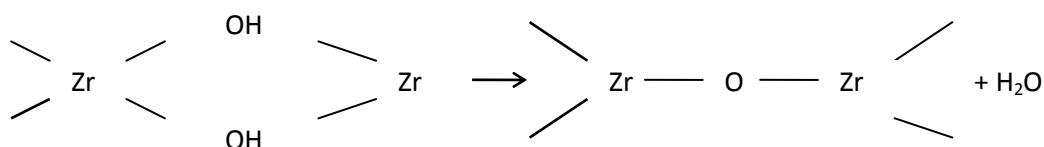


Изменение концентрации соляной кислоты в пределах 0,1-0,5 моль·л⁻¹ не оказывает влияние на химический состав конечного продукта.

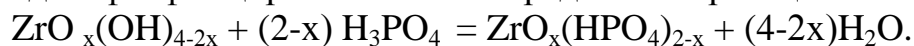
Взаимодействие гидроксида циркония (IV) с фосфорной кислотой протекает с высокой скоростью. Время полупревращения при температуре 25°C составляет менее 3 минут. Высокой скорости взаимодействия

следовало ожидать, т.к. гель-сферы представляют собой высокодисперсные макропористые тела с влажностью 60-70 мас.%. Однако глубина протекания процесса существенным образом зависит от температуры. Если при температуре 85° степень превращения F за 2,5 часа составила 99,97%, то при 25°С – только 93%. Даже после выдержки в течение 24 часов величина F при 25°С была равна 96%.

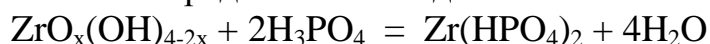
В работе [4] исследовано влияние продолжительности и температуры (25-90°С) предварительной обработки гель-сфер гидроксида циркония (IV) на их взаимодействие с фосфорной кислотой. При старении наблюдается усадка гранул и снижение реакционной способности гель-сфер, которая выражается в уменьшении степени превращения гидроксида в фосфат, особенно при малых равновесных концентрациях фосфорной кислоты, что связано с протеканием оксольационных химических процессов в гидроксиде циркония:



Оксосвязь, как более прочная, менее активна к взаимодействию с фосфорной кислотой, чем и объясняется меньшая реакционная способность продукта старения. Поэтому процесс превращения оксогидроксида в фосфат циркония можно представить реакцией:



Однако с увеличением равновесной концентрации фосфорной кислоты продукты взаимодействия характеризуются $r \geq 2$ независимо от условий старения гель-сфер. В этом случае образующиеся в результате старения оксосвязи участвуют во взаимодействии с фосфорной кислотой и суммарную реакцию можно представить в виде:



Аналогичный эффект вызывает повышение температуры обработки. С увеличением температуры в реакцию с фосфорной кислотой вступают оксосвязи.

Технологическая схема получения сферогранулированного фосфата циркония (IV) включает следующие стадии. Исходным сырьем для получения продукта является карбонат циркония (IV), который разлагают в растворе соляной кислоты с получением раствора хлорида циркония (IV), имеющего концентрацию по цирконии 1,3-1,5 моль·л⁻¹ и отношение Cl/Zr=1,4-2,0. В качестве исходного сырья может быть использована хлорокись циркония (IV). Раствор хлорида циркония (IV) подвергают электролизу в однокамерном электролизере для получения золя гидроокиси циркония (IV). В процессе электролиза происходит уменьшение концентрации соляной кислоты в растворе из-за разложения ее на электродах на газообразные продукты хлор и водород, углубление

гидролиза и полимеризации ионов циркония и формирование золя гидроксида циркония (IV) с параметрами: концентрация по цирконию 1,3-1,5 моль·л⁻¹, отношение Cl/Zr=0,15-0,3, рН=1,8÷2,2 и вязкость 8-30 сст. Выделяющийся при электролизе газообразный хлор улавливается раствором щелочи с образованием гипохлорида натрия, который постепенно разлагается до NaCl. Полученный золь гидроксида циркония (IV) направляют на стадию гелирования.

Стадию гелирования осуществляют путем капельного диспергирования золя в водный раствор аммиака. В результате диффузии аммиака в объем капли золя происходит нейтрализация свободной соляной кислоты и хлорид-ионов, связанный с коллоидными частицами, и гелирование капель золя с образованием гель-сфер гидроксида циркония (IV), обладающих достаточной механической прочностью для проведения дальнейших операций.

Гель-сферы отмывают от избытка аммиака. Промывные растворы направляют на выпарные аппараты для выделения из них аммиака, который в виде раствора NH₄OH направляют на стадию гелирования.

Аммиачные гель-сферы имеют щелочную реакцию. Для их нейтрализации используют сливной солянокислый раствор, образующийся после проведения стадии конвертирования. Растворы после стадии нейтрализации гель-сфер направляют на выпарку аммиачного раствора.

Стадию конвертирования проводят путем обработки гель-сфер гидроксида циркония (IV) раствором фосфорной кислоты при отношении в смеси P/Zr=1,8-2,0, концентрации HCl в растворе 0,3-0,5 моль·л⁻¹ и температуре 80-90°C в течение 2-4 часов. Гель-сферы фосфата циркония (IV) отмывают от избытка кислоты и промывные растворы направляют на стадию нейтрализации аммиачных гель-сфер.

Для увеличения механической прочности и формирования необходимой пористости гель-сферы фосфата циркония (IV) сушат на воздухе до остаточной влажности 20-36 мас.% и используют как сферогранулированный фосфат циркония (IV) в H⁺-форме. Сорбент может быть переведен в солевую форму, например натриевую, путем обработки продукта раствором соды (Na₂CO₃). Для проведенных [3] и дальнейших исследований бралась водородная форма данного сорбента.

Библиографический список

1. Шарыгин Л.М., Моисеев В.Е., Пышкин В.П., Галкин В.М., Кузьмина Р.В. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1983. Т.19. № 11. С. 1899-1902.
2. Clearfield A. Nancollas G.H., Blessing R.H. // Ion Exchange and Solvent Extraction. 1973. Vol.5.N 1 P.1-120.

3. Гурина Т.С., Шумалкина Т.С. Сорбционные характеристики сорбента Т-3А по отношению к стронцию в зависимости от величины рН// Молодежь и наука: материалы региональной науч.-техн. конф.: в 3 т. – Т. 2. – Нижний Тагил: ФГАОУ ВПО НТИ (ф) УрФУ, 2012. –141 с. С. 104-104

4. Галкин В.М., Шарыгин Л.М., Моисеев В.Е., Пышкин В.П. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1983. Т. 19. № 8. С. 1337-1340.

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Осипенкова Г.А., доцент, к.т.н.,

Ищенко И.В., студентка 3 курса, НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил

Многочисленность технологических способов, применяемых при восстановлении деталей, объясняется разнообразием производственных условий и дефектов, для устранения которых они применяются.

Применение того или иного способа восстановления зависит также от материала, из которого изготовлена восстанавливаемая деталь.

В экономически развитых странах на рынке запасных частей восстановленные детали преобладают, они в 1,5-2,5 раза дешевле новых, а по ресурсу, как правило, не уступают им. Это достигается, прежде всего, за счет участия в восстановлении фирм, производящих машины и специализированных фирм по восстановлению изношенных деталей. Например, на мотороремонтном заводе английской фирмы "Бинз Индастриз Лимитед" ремонтируют ежегодно около 60 тыс. двигателей типа "Форд" и восстанавливают блоки цилиндров, головки блоков, коленчатые и распределительные валы, шатуны, гильзы и другие дорогостоящие детали. Аналогично поставлено восстановление деталей на ремонтных заводах компании "Перкинс" и других. Разработка технологий, оборудования и материалов документации на восстановление деталей проводят в исследовательском центре, насчитывающем около двух тысяч специалистов, а также в исследовательских лабораториях, находящихся в различных странах.

Эффективность и качество восстановления деталей зависят от способа восстановления. Способы восстановления подразделяются на группы в зависимости от характера устраняемых дефектов. Рассмотрим классификацию способов восстановления деталей (рис. 1).

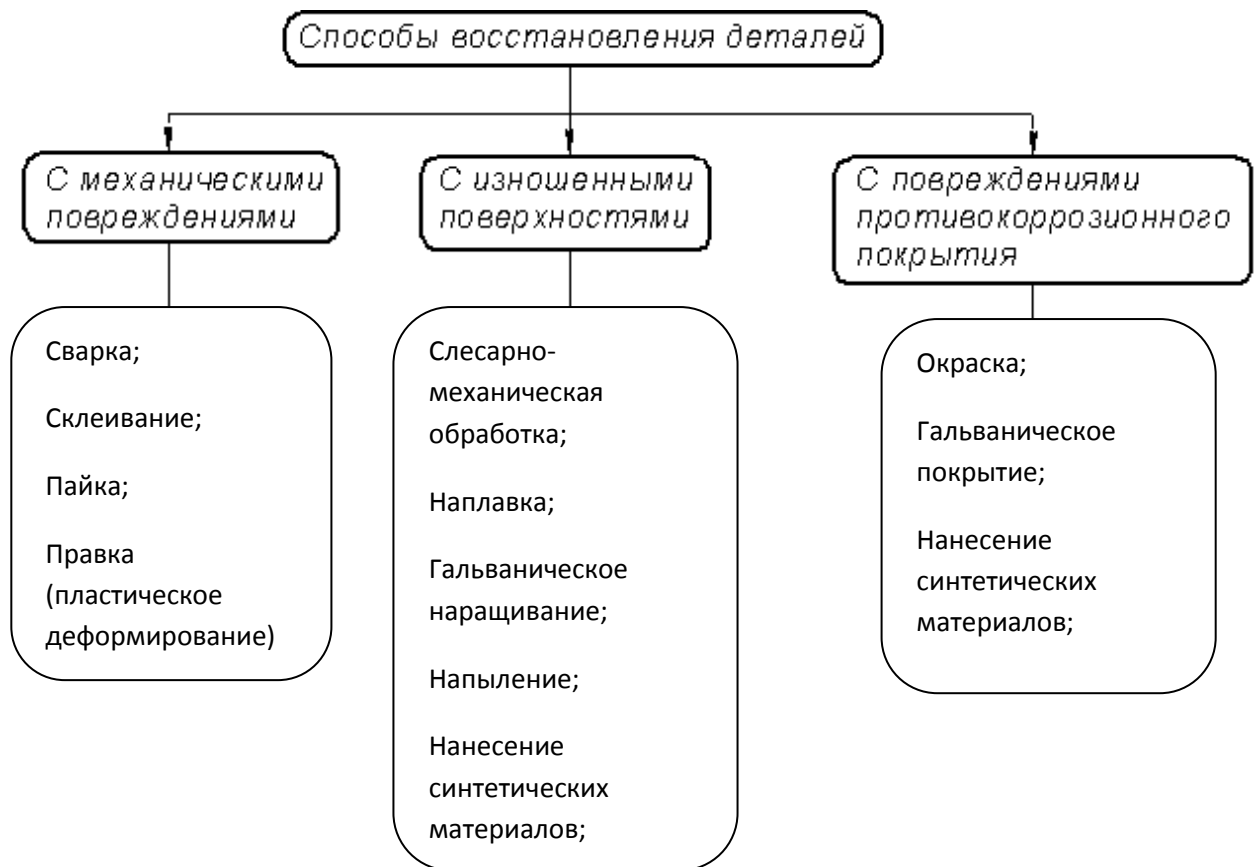


Рис. 1. Способы восстановления деталей

Разберем самые основные способы восстановления деталей из вышеприведенной классификации.

Устранение дефектов давлением. Основано на использовании пластических свойств материала деталей. Применяют для восстановления размеров изношенных поверхностей под подшипники (накатка поверхности), усталостной прочности и жесткости (обработка пружин профилированным роликом) и деформированных деталей (втулок и др.).

Устранение дефектов гальваническим и химическим наращиванием металла (хромирование, осталивание, меднение, цинкование). Отсутствие нагрева детали и структурных изменений в металле, что выгодно отличает этот способ от других (сварки, наплавки и др.).

Электроискровой и плазменный способы. Для легирования и наращивания изношенных поверхностей деталей, более дорогих и трудоемких в изготовлении.

Пайка. Ликвидируют трещины и используют при ослаблении прочности спая в агрегатах электрооборудования.

Дефекты деталей из алюминиевых сплавов (трещины, пробоины, обломы, изношенные поверхности отверстий) можно устранять электродуговой сваркой с применением электродов марки ОЗА-2. Электроды хранят в сухом вентилируемом помещении; не использованные в пределах одного месяца со дня их изготовления электроды перед

употреблением необходимо прокалывать при температуре 220...230°C в течение 1 ч. Для заварки трещины вырубает неглубокую канавку по всей длине трещины. Шлаки, покрывающие шов после сварки, смывают водой и одновременно очищают металлической щеткой. Перед сваркой деталь необходимо предварительно подогреть до 150...250°C.

Из всех способов восстановления наиболее прогрессивными являются покрытия металлами (наплавка, металлизация, хромирование, остаивание) или пластмассами, позволяющие восстанавливать изношенные детали под начальные размеры с обеспечением взаимозаменяемости. Кроме того, покрытием металлами или пластмассами можно восстанавливать детали, которые вследствие значительного износа не могут быть обработаны под ремонтный размер для деталей, сопряженных с подшипниками качения, покрытия в ряде случаев являются единственно возможными способами восстановления. Естественно, что не все указанные способы нанесения покрытий равнозначны. Очевидно, что наиболее рациональным способом восстановления детали будет тот, который обеспечивает наибольший срок службы восстановленной детали при наименьших затратах.

Используемые для ремонта деталей способы, в частности электро- и газовая сварка, наплавка, хромирование, металлизация, требуют специального оборудования и производственной базы и поэтому часто неприемлемы для водителя. Эпоксидные смолы и на их основе различные композиции и клеи можно использовать для ремонта в полевых условиях и в ряде случаев без демонтажа агрегатов и узлов. Рассмотрим эти методы более подробно.

Эпоксидными композициями можно восстанавливать следующие детали: картер двигателя и его крышки, головку цилиндра и ее крышку, поддон картера, картер коробки передач и его крышки, корпус карбюратора, топливный бак, грязевые щитки и кузов тележки (пробоины и трещины). Можно также ремонтировать изношенные поверхности в сопряжениях вал – подшипник, подшипник – гнездо подшипника и закреплять ослабевшие шпильки и штифты.

Прежде чем ремонтировать деталь, необходимо убедиться, что ремонтируемая деталь предварительно очищена от ржавчины и грязи механическим или химическим способом. Механическую очистку производят шабером, напильником, наждачной бумагой, шлифовальным кругом или обработкой на металлорежущих станках. Химически очищают (обезжиривают) ацетоном, бензином Б-70 или растворителями № 646 или № 648 и РДВ. При обезжиривании следует применять только волосяные кисти или щетки.

Библиографический список

1. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. - Л.: Машиностроение, 1977.
2. Специализированные ставки для восстановления деталей. «Каталог». - Малоярославец: 1978.
3. Восстановление деталей, ремонт и диагностика машин. Под ред. доктора техн. наук Е.Л. Воловика. - Калуга: 1977.
4. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей, изд. Колос, 1981.
5. Обработка металлов резанием Справочник технолога Под общей редакцией канд. техн. наук А.А. Панова Справочное издание М., "Машиностроение", 1988г.

ЗАЩИТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Кравченко Н.С., студентка НТИ (филиал) УрФУ
Кравченко Л.М., ст. преподаватель НТИ (филиал) УрФУ

Основной причиной появления и развития технологии нанесения защитных покрытий явилось стремление повысить долговечность деталей и узлов различных механизмов и машин.

Для защиты от окисления при высоком нагреве различных сортов сталей, жаропрочных, титановых, никелевых и других сплавов созданы защитные технологические покрытия, которые работают в интервале температур 950...1700° С. Эти покрытия экологически чистые, экономичны и просты в использовании, обладают хорошими смазочными характеристиками и могут быть использованы при обработке методами пластической деформации сталей и сплавов.

При штамповке заготовок из титановых сплавов применяют покрытия ЭВТ-24, ЭВТ-25, которые защищают металл от окисления, улучшают процесс заполнения формы, уменьшают глубину газонасыщенного слоя, повышают стойкость штампов в 1,5-3 раза.

Покрытия ЭВТ-35, ЭВТ-57, ЭВТ-88М используют в изотермической штамповке титановых и никелевых жаропрочных сплавов при изготовлении точных заготовок сложного профиля, при этом коэффициент использования материала повышается на 20...30%, увеличивается стойкость штампов, сокращаются припуски на механическую обработку и снижается трудоемкость изготовления деталей.

Покрытия ЭВТ-67, ЭВТ-78М, ЭВТ-100 позволяют защищать поверхности заготовок из тугоплавких сплавов от окисления.

Применение защитных технологических покрытий позволяет экономить металл и снижать себестоимость изготовления деталей.

Теплозащитные покрытия

При изготовлении космических ракет и кораблей, самолетов и ракет военного назначения используют специальные материалы для тепловой защиты жилых отсеков и аппаратуры управления. Трагический запуск корабля многоразового использования «Колумбия» показал, что нарушение герметичности клеевого шва в защитной облицовке приводит к разрушению всего корабля. Тепловая защита изолирует обшивку летательного аппарата от плотных слоев атмосферы, которые при торможении нагреваются до 1300°C , и состоит из плиток, выполненных из волокнистого керамического материала. Материал плиток может выдерживать многократное тепловое воздействие в интервале температур $150...+1300^{\circ}\text{C}$, обладает низкой плотностью и теплопроводностью, выдерживает значительные нагрузки от тепловых деформаций и вибраций. После каждого полета заменяют около сотни поврежденных плиток системы тепловой защиты, которые имеют трещины, выкрашивания, прижоги. В защитной облицовке космического корабля «Дискавери» перед одним из полетов были заменены 1900 плиток.

Для изготовления панелей корабля многоразового использования «Буран» были использованы композиции на основе аморфного кварцевого волокна (табл. 1).

Таблица 1

Параметры материалов ТЗМК-10 и ТЗМК-25

Параметр	ТЗМК-10	ТЗМК-25
Диапазон рабочих температур, К	120... 1500	120... 1500
Плотность d , кг/м ³	150	250
Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа	0,35	1,0
Предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	0,5	1,2
Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$, МПа	0,6	1,2
Теплопроводность λ , Вт/(м · К), при 300 К	0,05	0,066

Плитки приклеивают к поверхности корабля специальной пастой, чем достигается высокая прочность теплозащитного покрытия и сводится к минимуму возможность отрыва плиток во время полета. Теплозащитные керамические плитки используют при футеровке плавильных электропечей, что по сравнению с традиционными огнеупорами позволяет на 30...50% снизить расход электроэнергии, а также в 5-10 раз сократить время разогрева, что особенно важно для печей, имеющих периодический цикл работы.

Для авиационно-космической техники разработан волокнистый теплоизоляционный материал на основе волокон оксида алюминия. Этот материал по сравнению с кремнеземным длительно выдерживает температуру $1650...1700^{\circ}\text{C}$, и обладает в 2-2,5 раза более высокой прочностью.

Волокнистые материалы на основе SiO_2 и Al_2O_3 эффективно используют в качестве высокотемпературных жидкостных и газовых фильтров, катализаторов, а также армирующих наполнителей деталей двигателей внутреннего сгорания.

Основными недостатками таких волокнистых материалов являются низкая удельная прочность, возможность эрозии и истирания. Поэтому для повышения эффективности их применения необходимы поверхностные покрытия.

Терморегулирующие покрытия

Разработан эффективный способ получения высокотемпературных терморегулирующих покрытий, называемый «золь-гель»-технологией, в основе которой лежат химические процессы синтеза алкоксипроизводных металлов и неметаллов (Si, Al, B, Zr, Hf, Y и др.) с последующим гидролизом, конденсацией и гелеобразованием. Такая технология позволяет получать однородные покрытия при комнатной температуре и управлять их свойствами. Материал покрытия наносят на рабочие поверхности кистью, пульверизатором, шпателем, методом окунания. На основе «золь-гель»-технологии (англ. The sol-gel process) разработаны высокотемпературные терморегулирующие покрытия с рабочей температурой до $1500\text{ }^\circ\text{C}$ для защиты поверхности огнеупорных футеровок и волокнистых теплоизоляционных материалов от агрессивных горячих газовых потоков и термоударов. Толщина покрытия составляет $0,05\text{...}2,0$ мм, расход покрытия $0,15\text{...}0,40$ кг/м².

При использовании покрытий поверхность волокнистых теплоизоляционных материалов упрочняется в 2 раза, значительно снижается эрозионное разрушение из-за воздействия газовых потоков и агрессивных сред, на $30\text{...}50\%$ увеличивается срок службы, на $20\text{...}30\%$ снижается энергоемкость за счет снижения тепловых потерь, повышается температура эксплуатации изделий. Терморегулирующие покрытия используют в изделиях авиационно-космической техники, энергетическом и химическом машиностроении.

Библиографический список

1. Конструкционные и инструментальные материалы, применяемые в машиностроении (состав, механические св-ва и назначение) Справочно-учебное пособие Н.П. Аристов, И.А. Бурсина, А.И. Семичастная и др.; министерство образования РФ, Московский государственный технический университет «СТАНКИН».

2. Материаловедение и технология металлов. Учеб. для студентов вузов, обуч. по машиностроительным специальностям Г.П. Фетисов,

М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П. Фетисов 2-е издание, исправлено М. Высш.шк. 2003

3. Машиностроение (Текст) энциклопедия: в 40 т. ред. совет : К. Фролов (пред.) и др. Раздел 11 Материалы в машиностроении: Т.11-4. Неметаллические конструкционные материалы /ред.- сост. А.А. Кульков отв. Ред. В.В. Васильев М. Машиностроение 2005

4. Технологические процессы в машиностроении: учебник для бакалавров / С.Г. Ярушин. – М.: Издательство Юрайт, 2011.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кравченко Н.С., студентка НТИ (филиал) УрФУ

Кравченко Л.М., ст. преподаватель НТИ (филиал) УрФУ

Согласно классификации, все сверхтвердые лезвийные материалы на основе плотных модификаций нитрида бора являются композитами. В зависимости от технологии получения, физико-механических свойств, условий применения они разбиты на определенные группы. Наиболее широкое применение в отечественной металлообработке нашли композит 01 (эльбор-Р), композит 03 (исмит), композит 05, композит 09 (ПТНБ), однослойный и двухслойный композит 10 (гексанит-Р).

Аналогичные и подобные инструментальные материалы на основе модификации кубического нитрида бора (КНБ) созданы и находят применение во многих индустриально развитых странах, причем их применение неуклонно расширяется.

Перечисленные инструментальные материалы отличает высокая твердость, тепловая устойчивость и химическая инертность к черным металлам, т.е. все то, что делает эти прогрессивные инструментальные материалы весьма эффективными на операциях точения, растачивания и торцового фрезерования как гладких, так и прерывистых точных поверхностей деталей основного машиностроительного назначения.

Высокая эффективность применения инструментов, оснащенных поликристаллами композитов, обусловлена уникальным сочетанием их физико-химических характеристик, в числе которых исключительно высокая твердость, высокая теплостойкость и теплопроводность, близкая к теплопроводности твердых сплавов и не снижающаяся при повышении температуры (табл. 1). Поликристаллический кубический нитрид бора имеет износостойкость в 50 раз выше, чем твердый сплав, и в 10-25 раз выше, чем оксидная или нитридная керамика. Данные композиты сохраняют свою прочность при высоких температурах, типичных для обработки закаленных черных металлов с относительно высокой интенсивностью съема материала. Эти инструментальные материалы вступают в химическую реакцию с черными металлами на воздухе и при

высокой температуре, что обуславливает их определенные преимущества по сравнению с алмазами и другими традиционными инструментальными материалами.

Области применения различных марок композитов определяются размерами поликристаллов и их физико-механическими характеристиками. Несмотря на разнообразие марок, композиты не создают между собой конкуренции, а успешно дополняют друг друга. Имеются нормативные документы, каталоги, методические рекомендации и справочная литература, в которых достаточно полно и широко описаны основные свойства композитов.

Так, композиты 01 и 02 применяют для тонкого и чистового точения, преимущественно без ударных нагрузок, деталей из черных металлов любой твердости; композит 03 – для предварительного и окончательного точения чугунов любой твердости; композит 05 – для чистового и получистового точения без ударных нагрузок закаленных сталей и чугунов любой твердости, для торцового фрезерования чугунов; композит 10 – для предварительного и окончательного точения (расточивания) с ударными нагрузками и без них сталей и чугунов любой твердости, для торцового фрезерования закаленных сталей и чугунов.

В настоящее время освоено промышленное производство композитов на основе нитрида бора с различными свойствами, причем каждый тип инструментального материала обладает преимуществами при определенных условиях обработки.

Существует четыре основные группы материалов, эффективно обрабатываемых модификациями кубического нитрида бора:

- отбеленный чугун; легированный никелем или хромом белый чугун (50...65 HRC);
- закаленные стали и детали с поверхностной закалкой (50...65 HRC);
- некоторые упрочняемые сплавы (38 HRC);
- некоторые марки серого чугуна (200...220 HB).

Таблица 1

**Свойства композитов на основе плотных модификаций нитрида бора
(по ТУ 2-035-982-85)**

Марка композита	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Твердость HV, МПа	Теплостойкость, °С
Композиты 01 и 02	400...500	3 000	75 000...80000	1 100...1 300
Композиты 05 и 06	450...500	3 500	60000...70000	-
Композит 09	700...1 000	5 000	70 000...80000	1 100
Композит 10	700...1 000	4 500	60000...65 000	1 100

При обработке черных металлов твердостью свыше 45 HRC широко применяют черновое и чистовое точение с помощью композитов взамен

шлифования. Такие металлы, ввиду недостаточно высокой стойкости традиционных инструментальных материалов, неэффективно обрабатывать, например, твердыми сплавами или режущими керамическими материалами. Использование для этих целей шлифования кругами из электрокорунда представляет собой довольно длительный процесс, характеризующийся низкой интенсивностью съема металла и быстрым износом круга, что ограничивает производительность.

Развитие конструкции инструментов, оснащенных искусственными сверхтвердыми материалами, идет по двум основным направлениям – создание инструментов с механическим креплением цельных, многослойных круглых и многогранных режущих пластин, а также применение перетачиваемых режущих вставок, когда конструкция с механическим креплением пластин практически невозможна.

Твердость синтетического алмаза составляет приблизительно 90...100 ГПа. Его применяют для изготовления алмазных сверл, резцов, буровых колонок и инструментов для бурения наиболее твердых пород, а также для изготовления наконечников к приборам для измерения твердости и чистоты поверхности.

Наиболее благоприятными условиями для синтеза алмазов является давление 4...6 ГПа и температура 1125...1325 °С.

Получать крупные режущие пластины композитов технически достаточно сложно, так как это связано с очень высокой температурой и давлением, которые необходимы для синтеза этих материалов. Поэтому чаще используют более простые по технологии получения инструменты с напайными пластинами из композитов, которые могут перетачиваться несколько раз.

Дальнейшее развитие конструкции режущих инструментов, оснащенных лезвийными сверхтвердыми материалами, идет по направлению расширения возможностей композитов и их применения в условиях автоматизированного производства. Резцы из композитов широко применяют для обработки деталей различной конфигурации на токарных, токарно-револьверных станках, станках расточной группы, а также на многоцелевых станках. Эффективное использование инструментов достигается на жестких высокоточных станках повышенной мощности. Такое оборудование должно обладать достаточной жесткостью, поскольку при точении и растачивании инструментами из композитов имеют место относительно большие силы резания. Вибрации оборудования не допускаются, так как это не только ухудшает шероховатость обрабатываемой поверхности, но и в ряде случаев является причиной выкрашивания режущих кромок. Высокая стойкость и относительно малый износ инструментов из композитов имеют важное значение при обработке на автоматизированных токарных станках, так как число замен инструментов заметно сокращается, а заданные размеры

обрабатываемой детали выдерживаются без частого вмешательства оператора. Если загрузку и выгрузку деталей осуществляет робот, то инструменты, оснащенные модификациями композитов, вполне пригодны для обработки в условиях безлюдной технологии.

Библиографический список

1. Конструкционные и инструментальные материалы, применяемые в машиностроении (состав, механические св-ва и назначение) Справочно-учебное пособие Н.П. Аристов, И.А. Бурсина, и др.; мин-во образования РФ, Московский государственный технический университет «СТАНКИН».

2. Материаловедение и технология металлов. Учеб. для студентов вузов, обуч. по машиностроительным специальностям Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П. Фетисов 2-е издание, исправлено М. высш. шк. 2003.

3. Машиностроение (Текст) энциклопедия: в 40 т. ред. совет : К. Фролов (пред.) и др. Раздел 11 Материалы в машиностроении: Т.11-4. Неметаллические конструкционные материалы /ред.-сост. А.А. Кульков отв. Ред. В.В. Васильев М. Машиностроение 2005.

4. Технология фрезерования изделий машиностроения: учебное пособие / О.И. Аверьянов, В.В. Клепиков М. : ФОРУМ, 2008.

5. Формообразующие инструменты в машиностроении. Учеб. для машиностроит. спец. вузов / А.Г. Схиртладзе, Л.А. Чупина, А.И. Пульбере и др. М.: Новое знание, 2006.

НАПРЯЖЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПЛАТИНОРОДИЕВОГО СПЛАВА ПлРд – 10

*Фомин А.А. – аспирант, Логинов Ю.Н. – профессор, д.т.н.
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, exile666@inbox.ru*

Для построения кривых упрочнения ПлРд–10 в координатах сопротивление деформации – степень деформации (σ_s – ϵ) проводили стандартные испытания образцов на растяжение по ГОСТ 10446-80. Исследование выполняли в лаборатории механических испытаний ОАО «Екатеринбургский завод ОЦМ» на испытательной машине Instron модели 3365. Образцами для испытания являлись отрезки проволоки, полученные методом холодного волочения, предварительный отжиг на размере 0,490 мм проводился в воздушной среде в течение 30 мин при температуре 1000 °С, охлаждение проходило также на воздухе. Рабочая длина образцов 200 мм, начальная расчетная (базовая) длина образца 100 мм.

С помощью специализированного программного обеспечения Bluehill Lite для каждого образца построили диаграмму растяжения в координатах нагрузка P – удлинение Δl , определили условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, временное сопротивление разрыву σ_B , относительное удлинение и модуль Юнга. Полученную диаграмму растяжения обрабатывали в программе Microsoft Office Excel, где дополнительно были рассчитаны относительное обжатие по площади, логарифмическая степень деформации, степень деформации сдвига.

Построение кривых упрочнения вели по двум методикам. Первая заключается в обработке диаграмм растяжения образцов, испытанных в отожженном состоянии. При использовании данной методики трудно получить значительные степени деформации из-за раннего образования шейки и, следовательно, нарушения основного условия определения сопротивления деформации – одноосного напряженного состояния. Полученную диаграмму перестраивали в координаты «истинное напряжение σ – логарифмическая степень деформации ε » с учетом выполнения закона Гука, при этом $\sigma = P_i / F_i$, где P_i – сила растяжения в i -ый момент времени. Кривые упрочнения сплава приведены на рис. 1. Они представлены в виде линий, соединяющих экспериментальные точки, которые не показаны на рисунке для более наглядного отображения.

Полученные кривые упрочнения аппроксимировали методом наименьших квадратов с помощью программы Mathcad. Линии регрессии описывали степенной зависимостью Людвики, которая устанавливает связь между сопротивлением деформации σ_s и логарифмической степенью деформации ε в виде $\sigma_s = 203 + 247 \cdot \varepsilon^{0,354}$.

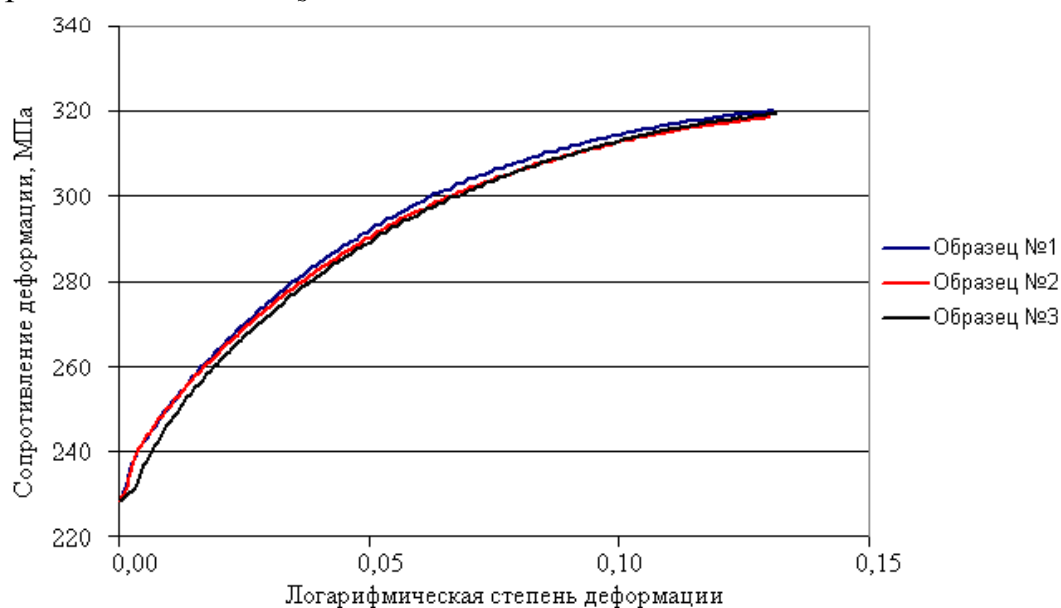


Рис. 1. Кривые упрочнения сплава ПЛРД – 10

Недостаток данного метода построения кривых упрочнения по результатам испытания на растяжение состоит в невозможности непосредственно определить сопротивление деформации при деформациях выше, чем они определены образованием шейки. Таким образом, следует признать, что данные зависимости дают надежные результаты для определения σ_s при ε до 0,2.

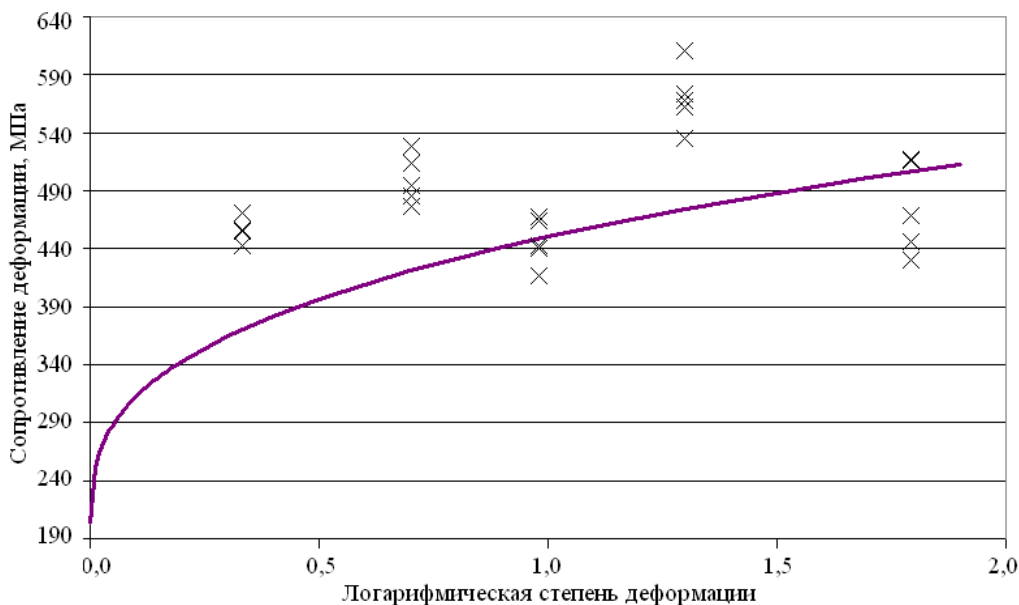


Рис. 2. Зависимость сопротивления деформации сплава ПЛРд – 10 от логарифмической степени деформации (точки – экспериментальные данные, полученные по второй методике, линия – по уравнению регрессии, полученному по первой методике)

Дальнейшее исследование было направлено на увеличение показателей деформации в область повышенных значений. Это делалось путем отбора образцов по маршруту волочения и измерением свойств после некоторых проходов волочения. В данной методике сопротивление деформации оценивается величиной условного предела текучести. В итоге для каждого сплава было получено еще по пять значений сопротивления деформации, приравненного условному пределу текучести, для пяти разных значений логарифмической деформации, достигающей $\varepsilon = 1,8$. Полученные данные показаны на рис. 2.

Полученные данные можно сравнить с показателями твердости в зависимости от относительного обжатия, приведенные на сайте всемирно известной компании Johnson Matthey, специализирующейся на обработке платиновых сплавов.

И в том и в другом случае сплав отличается аномальным упрочнением. В области деформации на уровне 70 % относительного обжатия наступает разупрочнение, сопровождающееся дальнейшим упрочнением. Причины такого явления оказались не выяснены, не удалось найти сведения, объясняющие это явление и в мировой литературе.

Поэтому крайне желательно проведение дополнительных исследований, направленных на изучение явления с позиции материаловедения.

Пересчет значения относительного обжата, равного 70% на значение логарифмической степени деформации показывает, что оно равно 1,2, это именно то критическое значение, при котором в опытах наблюдалось снижение сопротивления деформации.

Следует отметить, что с производственной точки зрения в технологии волочения проволоки разупрочнение является крайне нежелательным явлением, поскольку оно ослабляет передний конец заготовки. В результате возможно проявление повышенной обрывности при волочении. Поэтому полученные данные о немонотонности процесса нагартовки платины могут объяснить причины повышенной обрывности и могут быть предприняты меры по ее снижению, например, за счет корректировки режима обжатов по проходам волочения.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПАКЕТОВ В ПРОГРАММЕ MATLAB SIMULINK

*Малюшкин С.С., НТИ (филиал) УрФУ, инженер кафедры ПМ
Филимонов И.Е., НТИ (филиал) УрФУ, доцент кафедры ПМ*

Характер работы колесного трактора требует большого диапазона необходимых передаточных чисел. Если использовать ступенчатое переключение, то с учетом нескольких режимов работы трактора и числа передач в каждом режиме до $6 \div 8$, получим общее число необходимых переключаемых ступеней, равное нескольким десяткам ($30 \div 50$). Для удобной и экономичной работы силового агрегата необходимо использовать бесступенчатый привод [1]. С этой целью представляем эффективный гидромеханический привод на основе замкнутого дифференциального зубчатого механизма [2] с принудительным вращением от гидромотора сразу двух эпициклов (рис. 1). Привод, состоящий из гидрообъемной передачи и дифференциальных звеньев, может быть использован в качестве коробки скоростей дорожно-строительной техники, в частности трактора РТМ-160 с дизельным двигателем ЯМЗ-236 Д. Первый поток мощности передается через солнечную шестерню на сателлиты и далее к водилу. Второй поток мощности передается через зубчатую передачу на насос (шестеренный), далее на гидромотор (регулируемый аксиально-поршневой с наклонным диском) и через другую зубчатую передачу на эпициклическое колесо и через сателлиты к водилу. Таким образом, на водиле суммируются два потока мощности, которые через агрегаты трансмиссии передаются к

ведущим колесам транспортной машины. При неработающей гидрообъемной передаче вал гидромотора препятствует вращению эпициклических колес. Изменяя угловую скорость вала гидромотора, получим различную угловую скорость эпициклических колес, что позволит при заданных оборотах дизеля бесступенчато изменять скорость и направление вращения выходного вала привода. Данный механизм обладает двумя степенями подвижности, поэтому двум входным звеньям необходимо задать по одному независимому движению. Для определения кинематических соотношений в данной передаче запишем уравнение Виллиса для первого дифференциального механизма:

$$U^{(h1)}_{4-6} = \frac{\omega_4 - \omega_{h1}}{\omega_6 - \omega_{h1}} \quad (1).$$

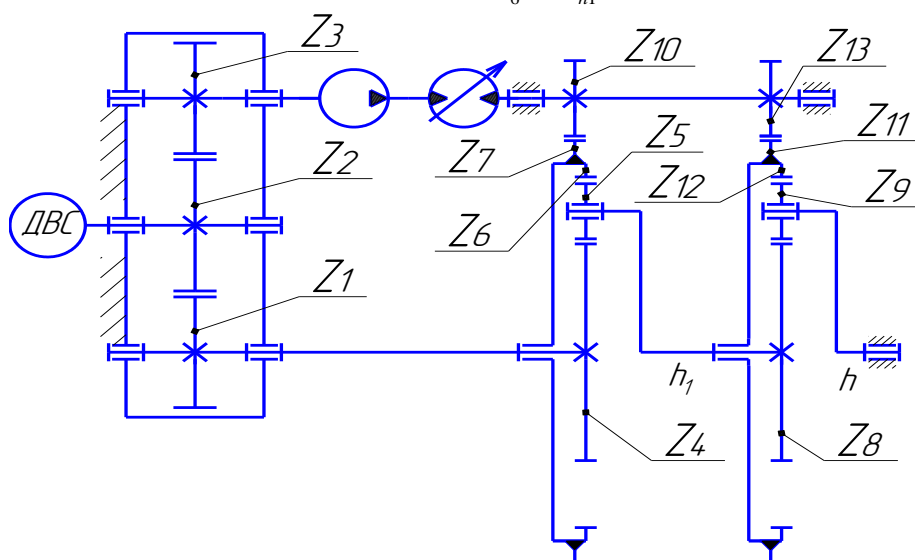


Рис. 1. Кинематическая схема привода

Запишем передаточные числа зубчатых передач через отношения чисел зубьев:

$$U_{21} = -\frac{z_1}{z_2}, \quad U_{23} = -\frac{z_3}{z_2}, \quad U_{107} = -\frac{z_7}{z_{10}}, \quad U^{(h1)}_{46} = U_x = \left(-\frac{z_5}{z_4}\right) \cdot \left(+\frac{z_6}{z_5}\right) = -\frac{z_6}{z_4}$$

Передаточное число гидрообъемной передачи с учетом направления вращения валов гидромотора и насоса запишется:

$$U_{ГОП} = \frac{\omega_H}{\omega_{ГМ}} = -\frac{1}{p}, \quad (2).$$

Передаточное число привода через отношение угловых скоростей:

$$\frac{\omega_{ДВС}}{\omega_H} = -\frac{1 + U_x}{\frac{1}{U_{21}} + \frac{U_x}{U_{23} \cdot U_{107}} \cdot p + \frac{U_x}{U_{23} \cdot U_{107}} \cdot p} \quad (3).$$

Модель дизельного двигателя (рис. 2) строится с учетом технической характеристики двигателя. Гидрообъемная передача моделируется с

учетом вспомогательной гидравлической аппаратуры. (рис. 3) Рабочая жидкость с определенными химико-физическими параметрами, нагнетаемая от насоса к гидромотору, приводит во вращение выходной вал гидромотора, который вращает с определенной угловой скоростью эпициклы дифференциального привода (рис. 4).

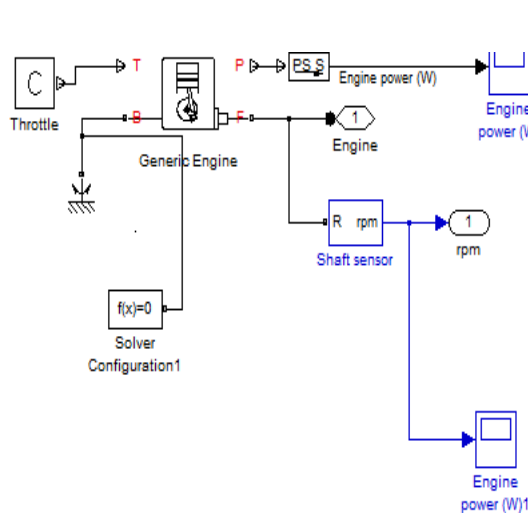


Рис. 2. Модель двигателя

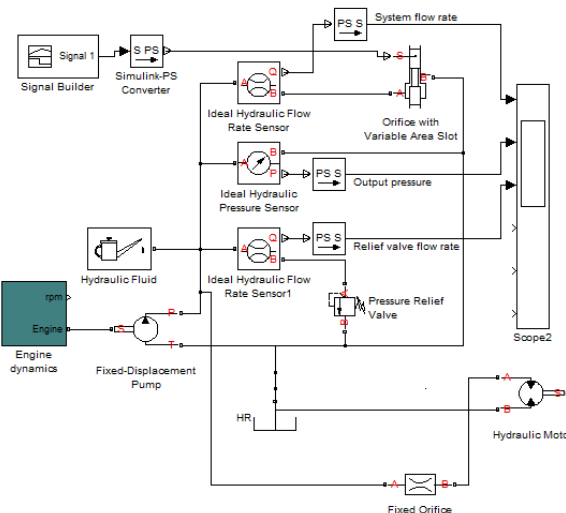


Рис.3. Модель гидрообъемной передачи

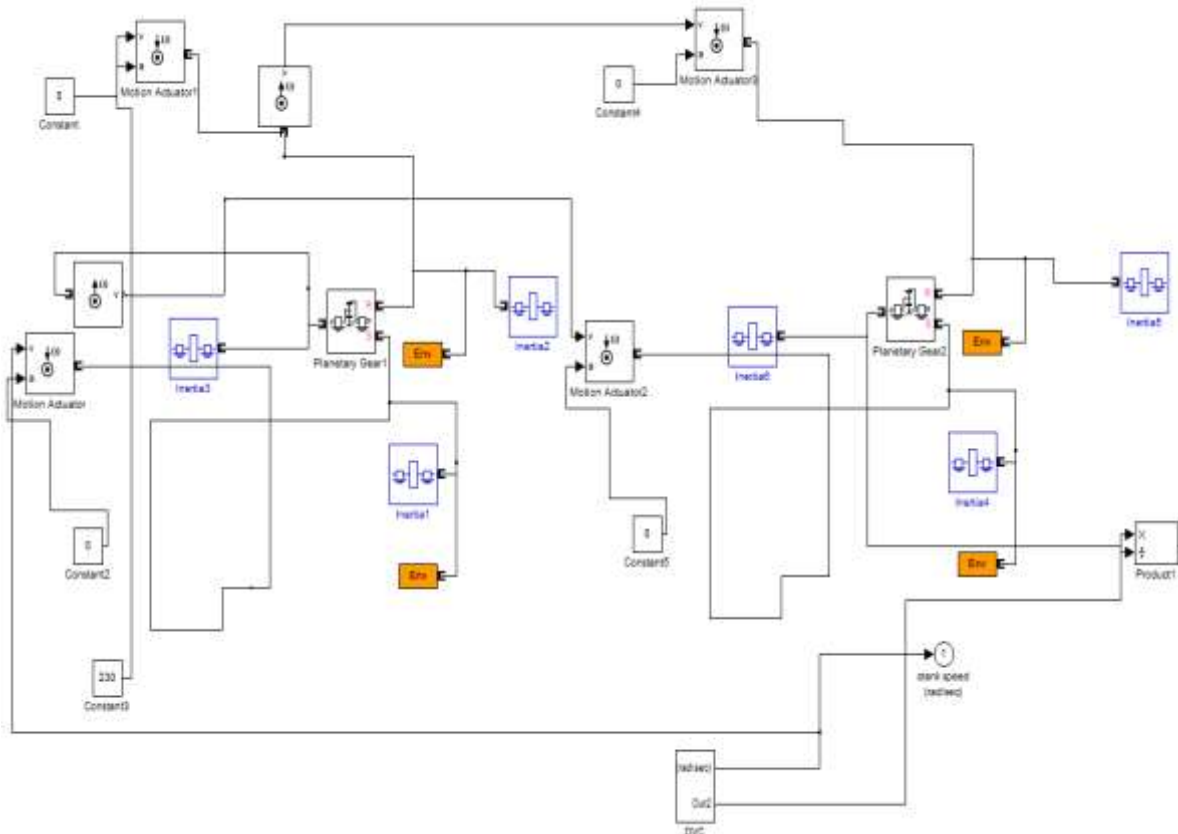


Рис. 4. Модель дифференциального привода

В представленной модели $\rho = 0,1375$; $U_{21} = 1,0$; $U_{23} = 1,0$; $U_x = 4,0$; $U_{107} = 4,0$. Подставляя эти значение в формулу (3), получим:

$$\frac{\omega_{ДВС}}{\omega_H} = -\frac{1+4,0}{\frac{1}{1,0} + \frac{4,0}{1,0 \cdot 4,0} \cdot 0,1375} + \frac{4,0}{1,0 \cdot 4,0} \cdot 0,1375 = -13,69$$

Знак «-» в модели не учитывается, поскольку в блоке дифференциального редуктора модели в качестве входных параметров можно вводить только положительные соотношения чисел зубьев колес. Передаточное число модели привода (рис. 5) принимает значение 13,69. Таким образом, экспериментальный результат моделирования совпадает с теоретическими расчетами.

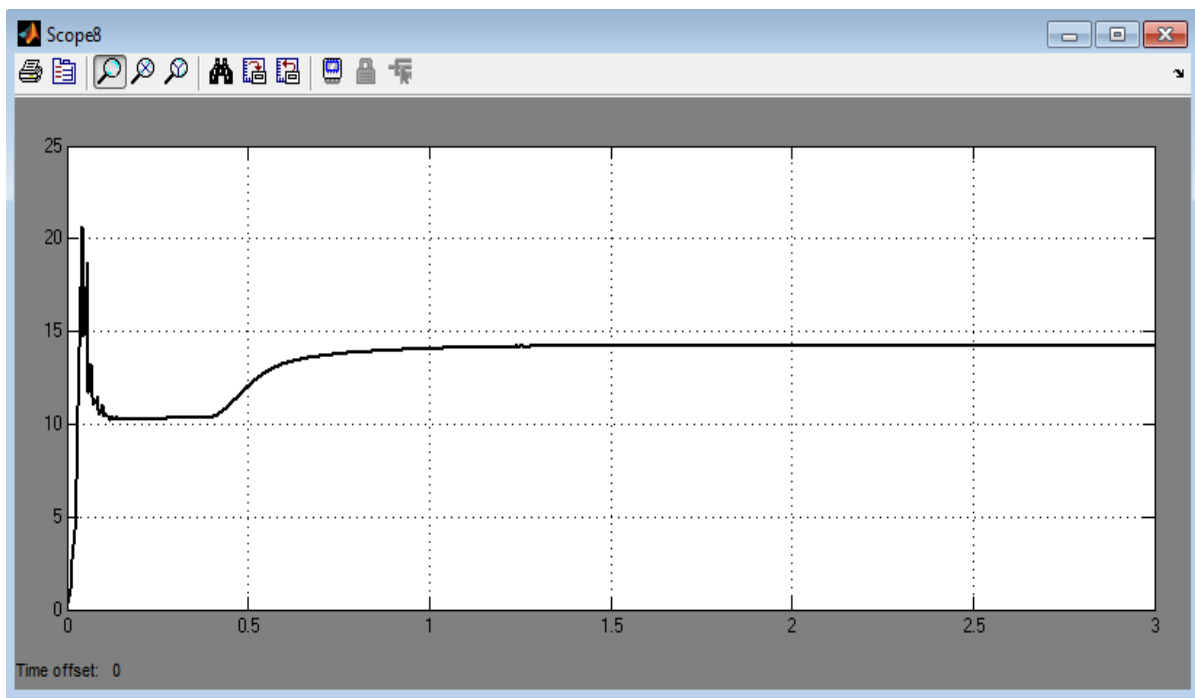


Рис. 5. Изменение передаточного числа

Библиографический список

1. Патент RU 2427746 «Дифференциальный гидромеханический привод», Егосин Александр Иванович (RU), Жеребин Сергей Борисович (RU), Перминов Андрей Альбертович (RU), Филимонов Игорь Евгеньевич (RU), Вихорев Юрий Семенович (RU), Малюшкин Сергей Сергеевич (RU).
2. Малюшкин С.С., Коряков С.А. Анализ и сравнение двухпоточных гидромеханических дифференциальных передач. «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА»: материалы региональной науч.-практ. конф. (25 мая 2012 года., г. Нижний Тагил) / ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2012. – Стр. 88-91.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

*Малюшкин С.С., НТИ (филиал) УрФУ, инженер кафедры ПМ
Филимонов И.Е., НТИ (филиал) УрФУ, доцент кафедры ПМ*

Эффективность использования транспортных средств в значительной степени определяется характеристиками установленных на них двигателей внутреннего сгорания. В настоящий момент все большее распространение получают дизельные двигатели, крутящий момент [1] которых вычисляется в виде многочлена второй степени через величину номинального крутящего момента M_{eH} , коэффициентов a, b, c и x – отношение угловой скорости двигателя ω_e к номинальной ω_H :

$$M_e = M_{eH} \cdot (a + b \cdot x + c \cdot x^2) \quad (1).$$

При этом не учитывается момент сил сопротивления, приложенный к валу дизеля, и таким образом двигатель развивает момент только в зависимости от угловой скорости двигателя, хотя необходимо учитывать [2] ход рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД). Крутящий момент двигателя с учетом параметра K_3 [3], характеризующего смещение рейки ТНВД (рис. 1), вычисляется:

$$M_e = M_{eH} \cdot (0,5 - (1 - K_3) + (1,5 - (1 - K_3)) \cdot x + K_3 \cdot x^2) \quad (2).$$

$$K_3 = \frac{h_p}{h_{pH}} \quad (3),$$

где: h_{pH} – полный ход рейки; h_p – ход рейки в зависимости от момента сопротивления

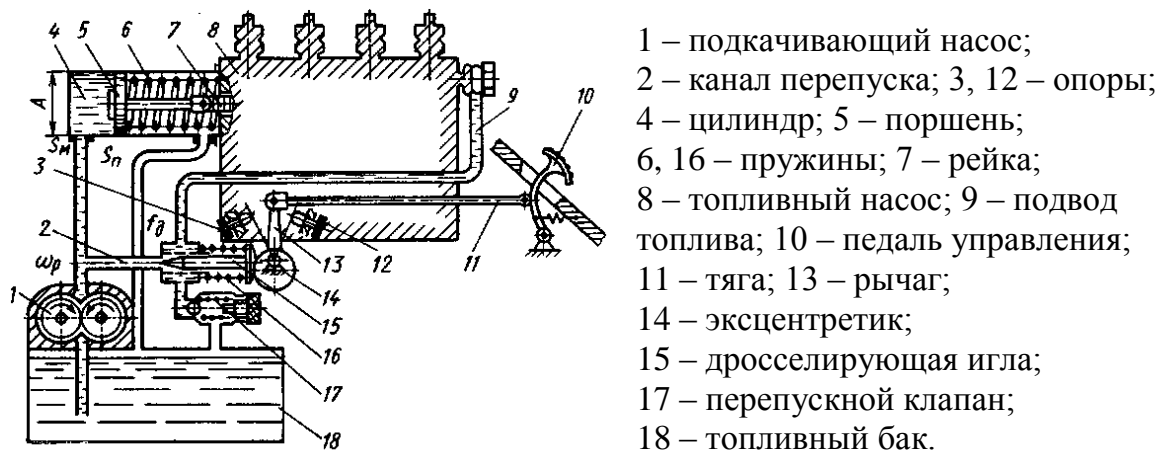


Рис. 1. Схема всережимного гидравлического регулятора с чувствительным гидростатическим элементом

Топливо насосом 1 подается в цилиндр 4. Его избыток через дросселирующую иглу 15 и перепускной клапан 17 сливается в бак 18. В

цилиндре 4 расположен поршень 5, связанный с рейкой 7 топливного насоса 8. Положение поршня определяется с учетом равенства сил, создаваемых с одной стороны пружиной 6, с другой – давлением топлива в левой полости цилиндра 4. При возрастании угловой скорости вала двигателя усиливается подача подкачивающего насоса 1, что влечет за собой увеличение давления в цилиндре 4 и перемещение поршня 5 вместе с рейкой 7 в сторону уменьшения подачи топлива. Запишем силовой баланс транспортного средства [4]:

$$F_T = F_K + F_n + F_B + F_u; \\ F_K = f_K \cdot G_a \cdot \cos \alpha; F_n = G_a \cdot \sin \alpha; F_B = 0.5 \cdot c_X \cdot \rho_B \cdot A \cdot V^2; F_u = \sigma_{BP} \cdot m_a \cdot a \quad (4),$$

где: F_T – сила тяги; F_K – сила на колесе; F_n – сила преодоления подъема; F_B – сила сопротивления воздуха; F_u – сила инерции, G_a – вес транспортного средства; f_K – коэффициент трения качения; α – угол подъема.

где F_T – сила тяги; F_K – сила на колесе; F_n – сила преодоления подъема; F_B – сила сопротивления воздуха; F_u – сила инерции, G_a , m_a – вес и масса транспортного средства; f_K – коэффициент трения качения; α – угол подъема; c_X , A – параметры аэродинамического сопротивления; ρ_B – плотность воздуха; V , a – скорость и ускорение машины; δ_{BP} – коэффициент учета вращающихся масс.

Давление, действующее на рейку [5], пропорционально квадрату угловой скорости вращения зубчатых колес подпитывающего насоса

$$P = \omega^2 \cdot (\rho \cdot (S \cdot b \cdot i \cdot \eta / \pi)^2 / (2 \cdot (\mu \cdot f)^2)) \quad (5),$$

где: S – площадь поперечного сечения впадины между зубьями зубчатых колес насоса; b – длина зуба; i – число зубьев; η – коэффициент подачи насоса; ω – угловая скорость зубчатых колес; ρ – плотность топлива. $\mu \cdot f$ – эффективное проходное сечение регулировочного отверстия

Полное смещение рейки ТНВД с учетом жесткости пружины $c_{np} = 140 \text{ Н/мм}$, радиуса маховика $r = 0,35 \text{ м}$, максимального момента

сопротивления валу дизеля $Me_{conp} = 667 \text{ Нм}$ запишем: $h_{pH} = \frac{Me_{conp}}{r \cdot c_{np}} = 13,6 \text{ мм}$.

Подставляя в (1) значения угловой скорости двигателя $\omega_e = 136 \text{ с}^{-1}$ при максимальном моменте $Me = 667 \text{ Нм}$, номинальную угловую скорость $\omega_H = 219,8 \text{ с}^{-1}$ определим, что при заданных значениях максимальное смещение рейки ТНВД составляет $(0,803 \cdot h_{pH})$. На вал движителя действует момент сил сопротивления M_{conp1} . Максимально возможный момент сил сопротивления этому валу запишем $M_{conp_{max}}$. При уменьшении угловой скорости зубчатых колес подпитывающего насоса в n раз: $\omega_1 / \omega_2 = n$, отношение давлений на рейку вычислится: $P_1 / P_2 = n^2$. Ход рейки ТНВД с

учетом жесткости пружины c_{np} и площади поршня A запишется: $h_p = \frac{P \cdot A}{c_{np}}$,

поэтому $\frac{h_{p1}}{h_{p2}} = n^2$. Составим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{e1} = -300 + 600 \cdot x_1 + 600 \cdot (1 + x_1 + x_1^2) \cdot \left(1 - \frac{h_{p1}}{h_{pH}}\right) \\ M_{e2} = -300 + 600 \cdot x_2 + 600 \cdot (1 + x_2 + x_2^2) \cdot \left(1 - \frac{h_{p2}}{h_{pH}}\right) \\ \frac{h_{p1}}{h_{p2}} = n^2 \\ h_{pH} = \frac{Me_{conp}}{r \cdot c_{np}} \\ h_{p1} = h_{pH} - \frac{M_{conp1}}{M_{conpmax}} \cdot 0,803 \cdot h_{pH} \\ x_1 = \frac{\omega_{e1}}{\omega_H} \\ x_2 = \frac{\omega_{e2}}{\omega_H} \end{array} \right. \quad (6).$$

В случае увеличения момента сил сопротивления движению транспортного средства система автоматического регулирования перемещает рейку топливного насоса с целью обеспечения повышенного крутящего момента на валу дизеля. По оси абсцисс задается частота вращения вала двигателя, по оси ординат – крутящий момент дизеля (рис. 2). На рис. 3 представлен объемный график изменения крутящего момента в зависимости от оборотов дизеля и смещения рейки. Задавая отношения моментов сил сопротивления движению можно определить необходимое значение передаточных чисел (формула (10)). В настоящее время ряд передаточных чисел коробок скоростей рассчитывают в том числе и от максимального крутящего момента двигателя [6], который образуется на валу дизеля достаточно редко. Поэтому существующая методика выбора передаточных чисел не учитывает моменты сопротивления в реальных дорожных условиях, что приводит к появлению избыточных значений крутящего момента на движителе и повышенному расходу топлива.

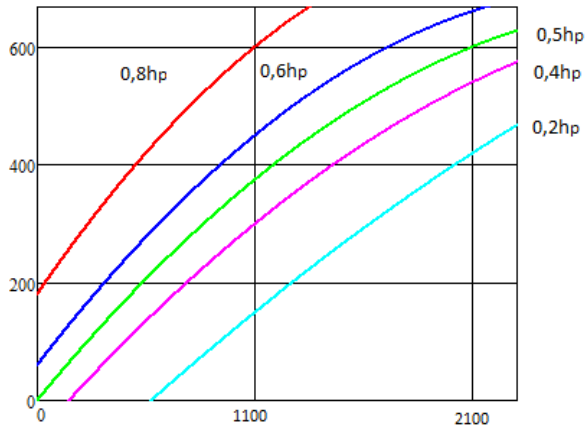


Рис. 2. Изменение момента двигателя

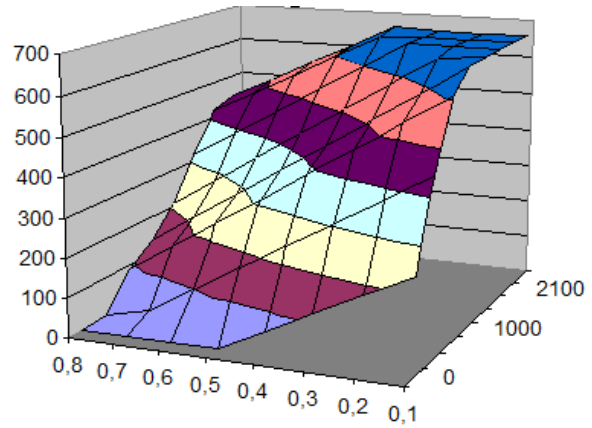


Рис.3. Изменение момента двигателя

Используя зависимость для определения параметров и режимов работы дизельного двигателя в динамической постановке задачи, обычно используют дифференциальное уравнение [6] с приведенными к нему параметрами:

$$M_e - M_{conp_e} = I \cdot \left(\frac{d\omega_e}{dt} \right) \quad (7),$$

где I – приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся масс.

Если рассматривать крутящий момент и угловую скорость, развиваемые валом движителя $M_{\text{движ}}$ и $\omega_{\text{движ}}$, изменяющуюся нагрузку $M_{\text{conp}_{\text{движ}}}$, приложенную к валу движителя, то с учетом уравнения (7) можно перейти к системам (8,9), а затем и найти передаточные числа коробки скоростей, соответствующие нагрузкам.

$$\begin{cases} M_{\text{движ}_1} - M_{\text{conp}_{\text{движ}_1}} = I \cdot \left(\frac{\omega_{\text{движ}_1}}{\Delta t_1} \right) \\ M_{\text{движ}_2} - M_{\text{conp}_{\text{движ}_2}} = I \cdot \left(\frac{\omega_{\text{движ}_2} - \omega_{\text{движ}_1}}{\Delta t_2} \right) \end{cases} \quad (8).$$

$$\begin{cases} M_{e1} \cdot U_1 \cdot \eta - M_{\text{conp}_{\text{движ}_1}} = I \cdot \left(\frac{\omega_{e1}}{U_1 \cdot \Delta t_1} \right) \\ M_{e2} \cdot U_2 \cdot \eta - M_{\text{conp}_{\text{движ}_2}} = I \cdot \left(\frac{\omega_{e2} - \frac{\omega_{e1}}{U_1}}{U_2 \cdot \Delta t_2} \right) \end{cases} \quad (9).$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{M_{\text{снр}_{\text{двиг}_1}}}{M_{e1} \cdot \eta} + \sqrt{\left(\frac{M_{\text{снр}_{\text{двиг}_1}}}{M_{e1} \cdot \eta} \right)^2 + 4 \cdot I \cdot \frac{1}{M_{e1} \cdot \eta} \cdot \frac{\omega_{e1}}{\Delta t_1}} \right) \\ U_2 = 0,5 \cdot \left(\frac{M_{\text{снр}_{\text{двиг}_2} - I \cdot \frac{\omega_{e1}}{U_1} \cdot \frac{1}{\Delta t_2}}}{M_{e2} \cdot \eta} + \sqrt{\left(\frac{M_{\text{снр}_{\text{двиг}_2} - I \cdot \frac{\omega_{e1}}{U_1} \cdot \frac{1}{\Delta t_2}}}{M_{e2} \cdot \eta} \right)^2 + 4 \cdot I \cdot \frac{1}{M_{e2} \cdot \eta} \cdot \frac{\omega_{e2}}{\Delta t_2}} \right) \end{array} \right. (10).$$

В ходе проведенной исследовательской работы по анализу работы дизельного двигателя с дифференциальной гидромеханической бесступенчатой коробкой скоростей получены формулы для вычисления крутящего момента дизельного двигателя и передаточного числа коробки скоростей с учетом условий движения транспортной машины.

Библиографический список

1. Савочкин В.В.: Тяговая динамика колесного трактора. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле – и тракторостроение». – М.: МГТУ «МАМИ», 2005. – 97 с.
2. Л.Н. Голубков, А.Л. Яковенко: Методические указания к лабораторно – практическим работам по курсу «Автоматическое регулирование и управление ДВС». – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 44 с.
3. Моделирование работы дизеля на частичных режимах. ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина».
4. Чернышев В.А. Тягово-динамический и топливно-экономический расчет автомобиля: Методические рекомендации по выполнению курсовой работы. – М.: МГАУ, 2002. – 39 с.
5. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с: ил.
6. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и система управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с., ил.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭДС ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Медисон В. В., аспирант, НТИ (филиал) УрФУ

Температура является одним из основных показателей, используемых при анализе процесса резания. По величине температуры в зоне резания можно косвенно судить о силе резания, обрабатываемости материала, износе режущего инструмента и многих других важнейших факторах.

Одним из наиболее распространенных методов измерения температуры в зоне резания является метод термопар. В общем случае существует три модификации данного метода, приведенные на рис. 1 [1,2].

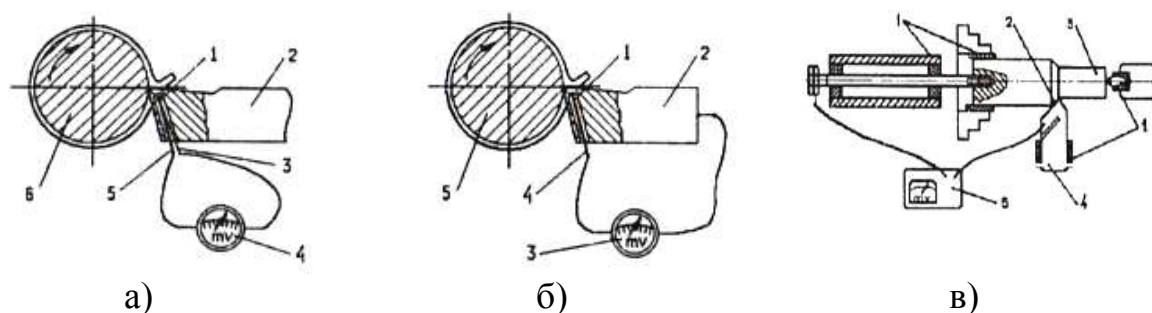


Рис. 1. Метод термопар: а) искусственная термопара; б) полуискусственная термопара; в) естественная термопара

Наиболее простым в реализации и самым широко применяемым в промышленности является метод естественной термопары. Этот метод основан на том, что в процессе резания материал инструмента и заготовки образуют термопару, в которой возникает термоЭДС, пропорциональная температуре в зоне резания.

Экспериментальная установка для измерения термоЭДС в зоне резания методом естественной термопары показана на рис. 2, а общий вид установки на рис. 3.

Как видно из рис. 2, резец изолируют от станка с помощью текстолитовых прокладок или другого диэлектрического материала. Один из проводов присоединяют к резцу, а другой – к заготовке. При этом, чем ближе к зоне резания будет присоединен первый провод, тем более точные данные будут получены.

Поскольку при точении заготовка непрерывно вращается, встаёт задача передачи электрического сигнала с вращающимся проводником. В приведенной схеме задача решается при помощи вращающегося электрического соединителя Mercotac 110, изображенного на рис. 4. Электрический соединитель Mercotac 110 позволяет передавать сигналы с

частотой до 200 МГц, имеет внутреннее сопротивление менее 1 мОм, выдерживает крутящие моменты до 35 г·см, и вращение со скоростью до 3600 об/мин.

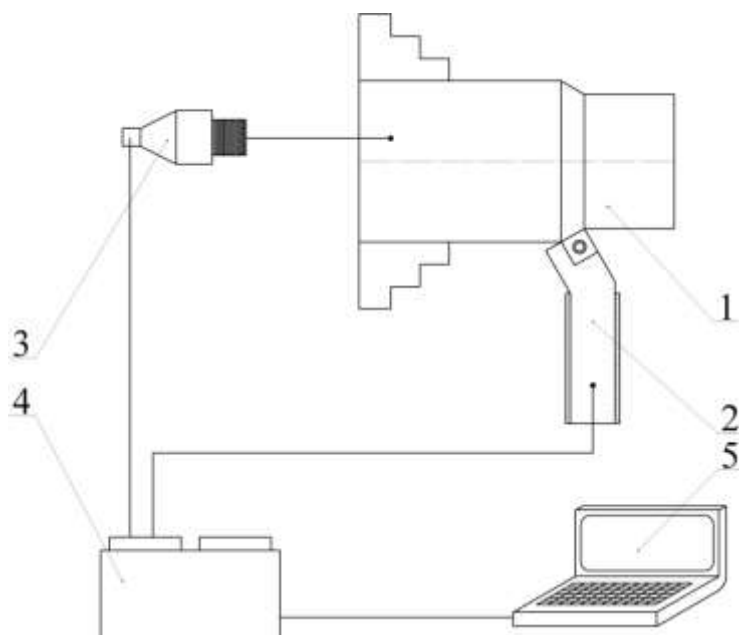


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 – пруток; 2 – резец; 3 – электрический соединитель Mercotac 110; 4 – плата сбора данных NI-USB 6210; 5 – персональный компьютер



Рис. 3. Установка для исследования термоЭДС в зоне резания

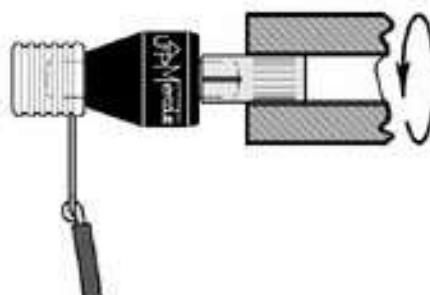


Рис. 4. Вращающийся электрический соединитель Mercotac 110

Сбор поступающего сигнала осуществляется при помощи платы сбора данных NI-USB 6210, изображенной на рис. 5. Плата имеет 16 аналоговых входов, по 4 цифровых входов/выходов и позволяет осуществлять сбор данных с частотой до 250 кГц.



Рис. 5. Плата сбора данных NI USB-6210

Плата сбора данных управляется при помощи компьютера в программной среде LabVIEW. Вообще это не единственная среда, позволяющая осуществлять сбор и обработку экспериментальных данных, с тем же успехом можно было бы воспользоваться MATLAB или Scilab.

Как видно из рис. 6 и рис. 7, для начала сбора данных, пользователю необходимо задать частоту измерений (число измерений в секунду), время сбора данных и общее число измерений.

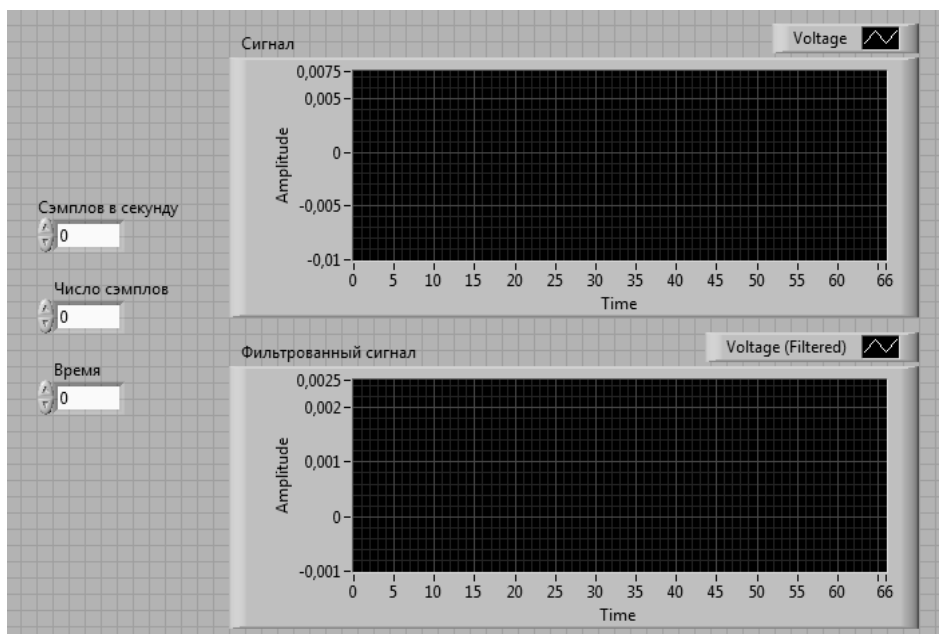


Рис. 6. Главное окно программы сбора данных

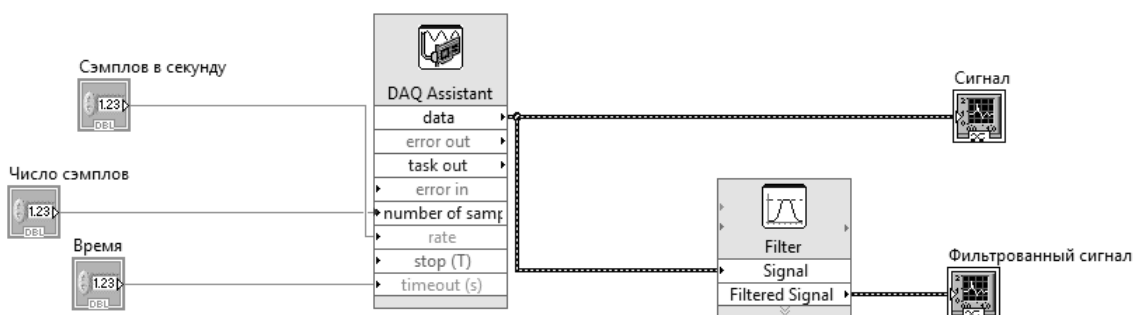


Рис. 7. Блок-диаграмма программы сбора данных

Поскольку поступающий сигнал бывает довольно сильно зашумлен, рекомендуется применение фильтрации. Используется фильтр нижних частот Чебышева.

Частота дискретизации сигнала во всех измерениях принимается равной 1 кГц, соответственно полоса пропускания фильтра Чебышева принимается в диапазоне от 25 до 400 Гц.

В результате измерения сигнала термоЭДС в зоне резания получают графики, вид которых представлен на рис. 8

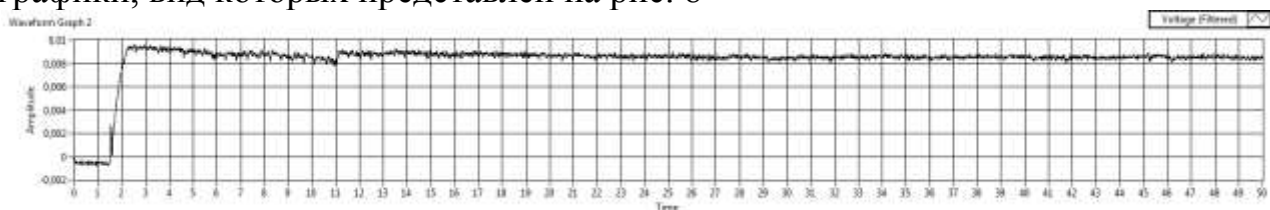


Рис. 8. ТермоЭДС при обработке сплава ВТ1-0 на режимах: $n=125$ об/мин, $s=0,67$ мм/мин., $t=1,0$ мм.

Анализ термоЭДС в различных технологических параметрах позволяет определить степень влияния режимов резания и геометрии инструмента на величину термоЭДС, а, следовательно, и температуры в зоне резания.

Разработанная экспериментальная установка может применяться при проведении лабораторных работ по курсу «Резание материалов» студентами всех форм обучения направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Библиографический список

1. Кукина Н.Ю. Температура при резании металлов : метод. указания к лаб. работе / авт.-сост. Н. Ю. Кукина ; Федер. агентство по образованию ; Урал. гос. техн. ун-т – УПИ, Нижнетагил. технолог. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2008. – 20 с.

2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ СМЕСИ

МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

Мусинов М.В., НТИ (филиал) УрФУ, учебный мастер I категории

В настоящее время литейное производство располагает большим списком связующих, применяемых для изготовления форм. Одним из перспективных связующих из этого списка является жидкое стекло, которое при введении его в смесь в количестве 4 – 6 % дает сухую прочность на растяжение 0,9 – 1,2 МПа, что вполне достаточно для изготовления форм и стержней. Наряду с многочисленными преимуществами применения жидкого стекла, существует и один большой недостаток, это плохая выбиваемость смеси после заливки металлом. Из-за этого недостатка формовочные и стержневые смеси с жидким стеклом не получили широкого распространения. Существующую проблему пытались решить путем введения в смесь различных разупрочняющих добавок, что не дало особого эффекта. Для решения этой проблемы предлагается пойти по другому пути, а именно повысить выбиваемость за счет резкого снижения до 1 – 2 % вводимого в смесь связующего. В свою очередь снижение количества вводимого в смесь связующего требует увеличения равномерности его распределения по объему смеси, для сохранения необходимой сухой прочности.

Для решения поставленной задачи был разработан способ приготовления формовочной смеси методом осаждения связующего на

зерна песка. За счет этого происходит равномерное распределение малого количества связующего по всему объему смеси, в результате чего каждое зерно песка покрывается тончайшим слоем связующего.

Осаждение связующего происходит в кипящем слое песка, в который подается жидкое стекло в виде тумана, образованного с помощью специального аппарата.

Таблица 1

Сравнительные данные эксперимента

Способ приготовления смеси	Состав смеси	Прочность на разрыв в сухом состоянии, МПа	Осыпаемость, %	Влажность, %
Стандартный	Песок 3К ₃ О ₃ 025 100%; Жидкое стекло (М=2) 4 %	0,47	90	3,2
Осаждение	Песок 3К ₃ О ₃ 025 100%; Жидкое стекло (М=2) 3 %	0,52	1,29	0,6

В ходе эксперимента сравнивались две смеси: первая была получена перемешиванием в бегунах, а вторая осаждением связующего в кипящем слое. Для проведения эксперимента жидкое стекло было разведено до плотности, необходимой для того, чтобы перевести связующее в туманообразное состояние. Перед проведением испытаний на прочность и осыпаемость образцы сушились в течение часа при температуре 200°С. Результаты испытаний представлены в таблице. По ним видно, что при меньшем содержании связующего в смеси при его осаждении произошло незначительное увеличение прочности смеси, а вот уменьшение осыпаемости налицо. Также было выявлено, что в процессе осаждения жидкого стекла происходит испарение влаги.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПОЛУВАГОНА С ГЛУХИМ СКРУГЛЁННЫМ НИЗОМ КУЗОВА

Пегашкин В.В., Васильев С. В., НТИ (филиал) УрФУ

В связи с возникшей потребностью в полувагонах повышенной прочности для перевозки сыпучих грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков, с разгрузкой на вагоноопрокидывателе разработан и поставлен на серийное производство полувагон с глухим скругленным низом кузова усиленной конструкции.

Для оценки динамической прочности и ходовых качеств нового полувагона были проведены ходовые испытания опытного образца в

сравнении с вагоном-эталонном. В ходе опытов у обоих вагонов измерялись следующие величины:

- динамические добавки вертикальных нагрузок по необрессоренным частям тележки. Замеры производились при помощи тензометрических датчиков в четырёх сечениях по буксовым проёмам боковых рам тележки;
- динамические добавки вертикальных нагрузок по обрессоренным частям тележки;
- горизонтальная (поперечная) сила, действующая со стороны колёсной пары на боковые рамы тележки (рамная сила);
- горизонтальные (поперечные) динамические перемещения надрессорной балки относительно боковой рамы тележки;
- взаимное перемещение боковых рам тележки относительно друг друга (обгон боковин);
- вертикальные динамические прогибы рессорных комплектов;
- вертикальное и горизонтальное (поперечное) линейные ускорения;
- динамические напряжения в элементах кузова полувагона.

Измеряемые величины регистрировались на ленту светолучевого осциллографа К-20-21.

Максимальные значения коэффициентов вертикальной динамики по боковым рамам тележки в порожнем режиме опытного вагона составили 0,86, для вагона-эталона 0,83, в гружёном режиме 0,76 и 0,7 соответственно.

Как видно, коэффициенты динамических добавок вертикальных сил, действующих на надрессорные балки (обрессоренные части рамы тележки) обоих вагонов, в порожнем состоянии примерно одинаковы (опытный вагон 0.67, вагон-эталон 0.64), в гружёном режиме 0,5 и 0,58 соответственно.

Определены также максимальные значения горизонтальных рамных сил для опытного вагона 0.23, для вагона-эталона 0,28 в гружёном состоянии, и 0.25 для опытного вагона в порожнем состоянии.

Значения вертикальных и горизонтальных линейных ускорений кузова полувагона определялись в долях g .

Максимальные значения вертикальных ускорений в порожнем состоянии для опытного вагона составили 0.64, для вагона-эталона 0.61, в гружёном режиме 0.57 и 0.57 соответственно.

Наибольшие значения горизонтальных ускорений кузова в порожнем состоянии для опытного вагона составили 0.27, для вагона-эталона 0.26, в гружёном режиме 0.23 и 0.24 соответственно.

Для оценки прочностных качеств элементов конструкции и узлов опытного полувагона были определены коэффициенты вертикальной

динамики рамы кузова вагонов. Максимальные значения в гружёном режиме для опытного вагона составили 0.56, для вагона-эталона 0.59.

Вертикальные динамические прогибы рессорных комплектов в порожнем состоянии опытного вагона составили 6 мм, для вагона-эталона 6.5 мм, в гружёном режиме 16 и 12,5 соответственно.

Углы поворота надрессорной балки относительно оси хребтовой балки кузова вагонов не превышали в порожнем состоянии у опытного вагона $7,6 \text{ рад}^{-3}$, для вагона-эталона 11 рад^{-3} , в гружёном режиме $18,2 \text{ рад}^{-3}$ и $18,5 \text{ рад}^{-3}$ соответственно.

Максимальные значения перемещения боковых рам тележек относительно друг друга в порожнем состоянии составили у опытного вагона 45 мм, для вагона-эталона 40 мм, в гружёном режиме 44 мм и 48 мм соответственно.

Горизонтальные перемещения надрессорной балки относительно оси хребтовой балки в порожнем состоянии у опытного вагона не превышали 9 мм, у вагона-эталона 9 мм, в гружёном режиме 8 мм и 9 мм соответственно.

Как видно из результатов испытаний, значения измеряемых динамических процессов с увеличением скорости возрастают и, как правило, имеют максимум при скорости движения 110-120 км/ч.

При сравнении полученных результатов ходовых испытаний с нормативными допускаемыми значениями можно сделать следующий вывод:

– ходовые динамические качества порожнего и груженого полувагонов предлагаемой модели и эталона не превышают предельных динамических показателей, установленных РД.

– максимальные значения перемещений, коэффициентов вертикальной динамики, вертикальных и горизонтальных линейных ускорений, боковых и рамных сил для сравниваемых полувагонов отличаются друг от друга не более чем на 3-5%.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА ВАГОНА

Пегашкин В.Ф., Даниленко Д.В., НТИ (филиал) УрФУ

Проблема обеспечения несущей способности полувагонов и цистерн по критерию сопротивления усталости сварных конструкций ответственного назначения является актуальной для железнодорожного транспорта. Появление усталостных трещин в сварных соединениях несущих конструкций полувагона и цистерны задолго до исчерпания назначенного ресурса, отмеченное рядом исследователей, свидетельствует о том, что прочность и надежность этих узлов не в полной мере отвечает

современным и перспективным условиям эксплуатации вагонного парка. Особенно это относится к основному спорному узлу рамы – шкворневому узлу, который в эксплуатации подвергается действию интенсивных переменных нагрузок.

Сложность этой проблемы обусловлена спецификой конструкции шкворневого узла, которая определяется:

- сложностью его геометрической формы, большим количеством элементов конструкции и пространственно расположенных соединений этих элементов между собой, что способствует неравномерному распределению напряжений и концентрации их в некоторых зонах;
- сложным в пространстве и переменным характером нагружения шкворневого узла в эксплуатации, зависящим от многих факторов;
- сложным характером распределения остаточных напряжений, возникающих в конструкции в результате термомодеформационного цикла сварки и их взаимодействия с циклически изменяющимися рабочими напряжениями.

Шкворневой узел (рис. 1) рамы серийного полувагона представляет пространственную сварную конструкцию, соединяющую хребтовую и шкворневую балки с приклепанным к ним пятником.

Анализ результатов натурного обследования шкворневых узлов подвижного состава в условиях реальной эксплуатации показал, что наиболее характерным видом отказов являются усталостные трещины, развивающиеся по металлу шва и околошовной зоны (иногда с выходом на основной металл). Можно выделить две основные зоны наиболее вероятного развития трещин. Первая из них включает в себя сварные соединения В, Д и Е, прилегающие к углу зета хребтовой балки. Трещины зарождаются в зоне концентрации напряжений вблизи угла зета и развиваются вниз по сварному шву В, вверх – по шву Е и к двутавру хребтовой балки – по шву Д. Необходимо отметить, что иногда развитие трещин по шву Е идет сверху вниз от места пересечения трех швов Г, Ж и Е, которое также характеризуется высоким уровнем рабочих напряжений.

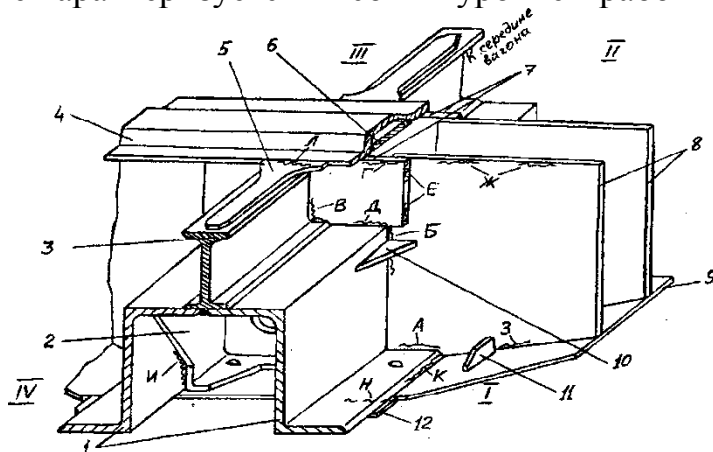


Рис. 1. Шкворневой узел рамы полувагона

Проводившиеся в УО ВНИИЖТ стендовые испытания крестообразных макетов шкворневого узла достаточно точно отражали усталостные разрушения сварных швов полувагона. Результаты испытаний крестообразных макетов шкворневого узла вагона-цистерны показали расхождение их с результатами реальной эксплуатации.

Это свидетельствует о том, что схемы приложения нагрузок на макет шкворневого узла вагон-цистерны не соответствуют реальным. Для отработки данных схем необходимо продолжить испытания, что проблематично в сегодняшней экономической ситуации.

Экспериментальные данные МГТУ им Н.Э. Баумана показали, что в случае рассмотрения угловых швов, выполненных из пластичных металлов, по свойствам близких к основному металлу, наибольшие пластические деформации при нагрузке и последующее начальное разрушение в случае статического нагружения возникают вблизи такого сечения BD (рис.2), в котором интенсивность напряжений максимальна.

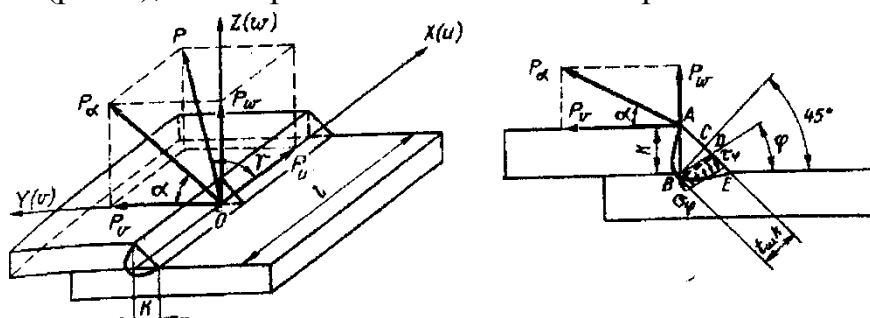


Рис. 2. Усилия, действующие на участок углового сварного шва

Зная значения продольных P_u , перерезывающих P_v отрывающих P_w усилий, действующих на участок сварного шва, можно определить средние по опасному сечению BD компоненты рабочих напряжений.

Предлагаемая методика оценки усталостного напряженно-деформируемого состояния шкворневых узлов полувагонов и цистерн с учетом сварных соединений представляет собой следующее:

1. Разработка твердотельной модели шкворневого узла вагона в твердотельном моделировщике SolidWorks (рис. 3).

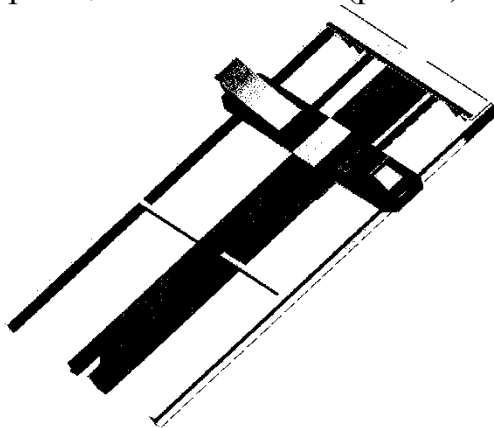


Рис. 3. Твердотельная модель рамы вагон-цистерны модели 15-150.

2. Передача твердотельной модели шкворневого узла в конечно элементный пакет ANSYS и разбивка его на конечные элементы (рис. 4).

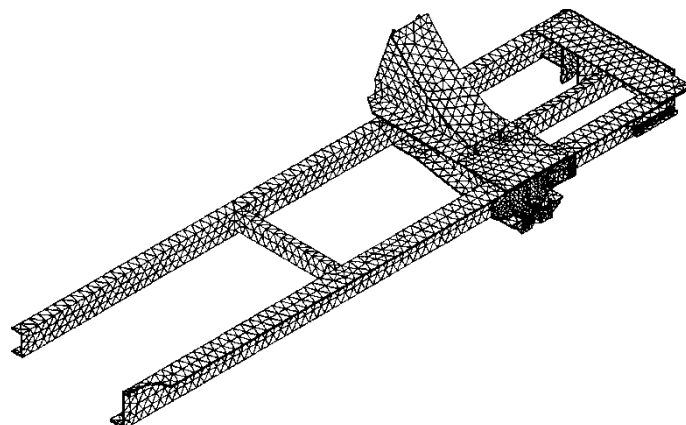


Рис. 4. Конечно-элементная рама вагон-цистерны модели 15-150.

3. Нагружение шкворневого узла нормативными нагрузками и получение результатов после расчета.

4. Оценка результатов расчета с учетом напряжений в сварных соединениях.

5. Оптимизация конструкции шкворневого узла в соответствии с полученными результатами расчета.

Таким образом, применение данной методики позволит быстро и качественно оценить прочность конструкции шкворневого узла и выбрать наилучшую схему без изготовления нескольких вариантов опытных образцов.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УПРОЧНЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Пегашикина Е.В., Пегашкин В.Ф., Гаврилова Т.М., НТИ (филиал) УРФУ

Известны способы чистовой отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей с наложением ультразвуковых колебаний (УЗК) [1-3]. Недостатком известных способов ультразвуковой отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей является:

– ультразвуковой концентратор необходимо изготавливать изогнутым, что является существенно трудоемким и технологически трудно исполнимым;

– ограниченная область применения, так как ультразвуковые раскатники и дорны предназначены для обработки отверстия только одного определенного диаметра;

– требуется достаточно точное изготовление наружного диаметра раскатной головки по расположению деформирующих элементов или

наружного диаметра дорна и, как следствие, их сравнительно высокая стоимость;

– большие непроизводительные потери ультразвуковой энергии.

Отличительной особенностью предлагаемого способа чистовой отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращающихся деталей является применение ультразвуковых крутильных колебаний по отношению к оси раскатываемой поверхности (детали), прикладываемых к инструменту (вводимых в очаг деформации).

На рис. 1 показана схема предлагаемого способа отделочно-упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей вращающихся деталей с введением в зону деформации ультразвуковых крутильных колебаний.

На рис. 2 показана схема предлагаемого способа отделочно-упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей вращающихся деталей с введением в зону деформации ультразвуковых крутильных колебаний в зоне обработки.

Ультразвуковые крутильные колебания создаются с помощью двух магнитострикционных преобразователей 6, работающих синхронно, которые закреплены на специальных стойках на плите приспособления. К магнитострикционным преобразователям 6 посредством резьбовых соединений присоединяются волноводы 5 и концентратор 4. На выходном торце концентратора 4 закрепляется сменное кольцо 2, на боковой поверхности которого закрепляется деформирующий элемент 3 (шарик или ролик). Для максимального использования энергии ультразвуковых колебаний применяется полуволновой концентратор 4, рассчитанный таким образом, чтобы деформирующий элемент 3, размещенный на боковой поверхности кольца 2, находился в пучности колебаний стоячей ультразвуковой волны. На плите приспособления устанавливается микрометр, который упирается в планку, посредством которого определяется статическое усилие прижима деформирующего элемента. Питание на магнитострикционные преобразователи подается от ультразвукового генератора 7. Деталь 1 устанавливается в трехкулачковом патроне специальной конструкции, закрепленном в шпинделе станка.

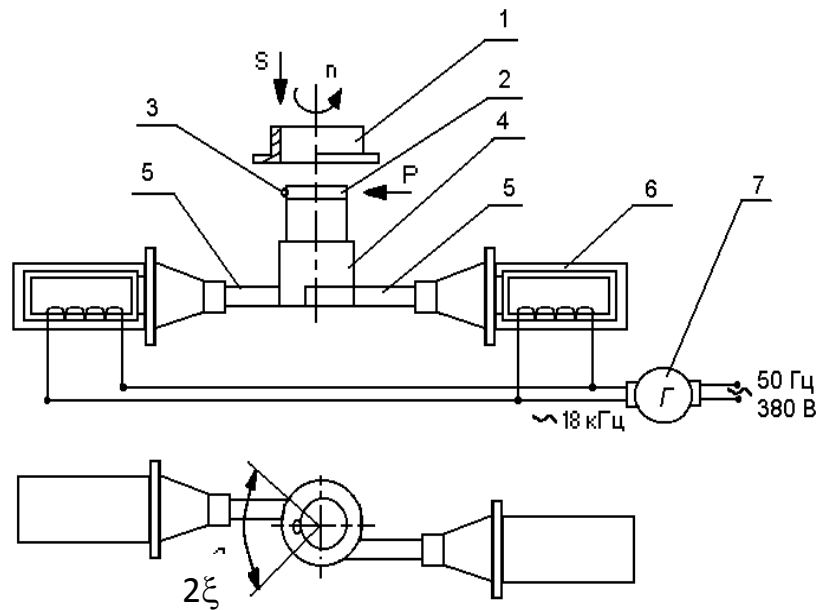


Рис. 1. Схема ультразвукового раскатывания с приложением крутильных ультразвуковых колебаний к деформирующему элементу: 1 – раскатываемая деталь; 2 – сменное кольцо; 3 – деформирующий элемент – шарик или ролик; 4 – концентратор УЗК; 5 – волновод; 6 – магнестрикционный преобразователь; 7 – ультразвуковой генератор

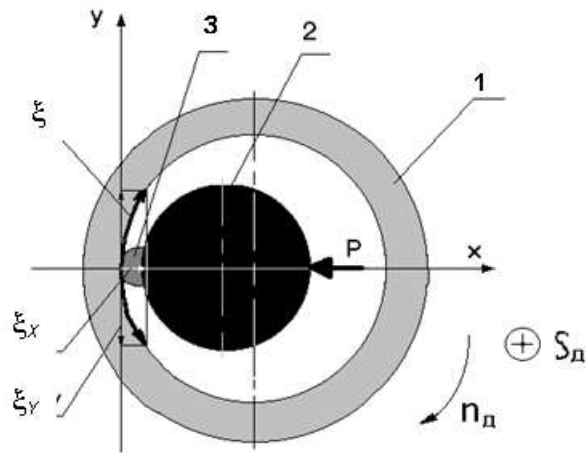


Рис. 2. Схема ультразвукового раскатывания с приложением крутильных ультразвуковых колебаний к деформирующему элементу: 1 – раскатываемая деталь; 2 – сменное кольцо; 3 – деформирующий элемент – шарик или ролик

Экспериментальные исследования при ультразвуковом раскатывании тонкостенных деталей типа «Кольцо» (материал – сталь 45, исходная микротвердость от 2600...2700 МПа до 1700...1900 Мпа, амплитуда ультразвуковых крутильных колебаний инструмента $\xi = 60$ мкм, рабочая частота колебательной системы $f = 18$ кГц, варьируемые параметры процесса: диаметр деформирующего элемента $d = 4,7...12$ мм (материал – сталь ШХ15), частота вращения деталей $n = 31,5...90$ об/мин, подача $s =$

0,14...1,2 мм/об, статическая сила прижима инструмента $P = 0,35...1,5$ кг) показали, что достоинствами предлагаемого способа являются:

- снижение коэффициента трения в зоне обработки;
- наиболее полное использование энергии ультразвука;
- снижение статической силы (усилия прижима деформирующего элемента к обкатываемой детали), что дает возможность применения данного метода для обработки тонкостенных, мало- и неравножестких деталей без их деформации по всему сечению;
- повышение степени деформации поверхностного слоя (по сравнению с другими способами) за счет сообщения деформирующему элементу ультразвуковых крутильных колебаний;
- шероховатость обкатанной поверхности улучшается на 1...2 класса.
- способ позволяет получать различные виды частично регулярных и регулярных микрорельефов за счет варьирования технологическими режимами.

Библиографический список

1. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
3. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / М.Ф. Вологин, В.В. Калашников. М.С. Нерубай, Б.Л. Штриков. М.: Машиностроение, 2002. 264 с.

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ЭЛАСТОМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА АВТОСЦЕПКИ

Пегашкин В.Ф., д.т.н., проф., Сувернев М.Н., НТИ (филиал) УрФУ

В настоящее время наиболее перспективным направлением совершенствования амортизирующих устройств автосцепки является использование силоксановых полимеров в качестве рабочего тела поглощающего аппарата. Такие аппараты, наряду с относительной простотой конструкции, обладают всеми преимуществами гидравлических устройств: отсутствием периода приработки и явлений заклинивания, высоким коэффициентом полноты динамической силовой характеристики.

Одной из отличительных особенностей эластомерного поглощающего аппарата является высокое значение рабочих давлений, которое, в зависимости от конструкции, может достигать величины 500

МПа и более. Данная особенность предъявляет достаточно высокие требования к прочности основных несущих деталей эластомерного амортизатора, в частности корпуса. Максимальных напряжений следует ожидать на внутренней поверхности рабочей камеры амортизатора. Учитывая практическую сложность экспериментальной оценки напряжённо-деформированного состояния (НДС) внутренних волокон корпуса как при квазистатическом, так и при динамическом сжатии, целью данной работы было расчётно-экспериментальное определение величин напряжений на внутренней поверхности корпуса. Работа выполнялась в следующем порядке:

- проведение статических испытаний эластомерного амортизатора с целью определения НДС наружных волокон корпуса;
- создание конечно-элементной модели корпуса амортизатора;
- проверка адекватности модели по результатам статических испытаний и расчётная оценка НДС внутренних волокон корпуса при квазистатическом сжатии аппарата;
- проведение испытаний эластомерного аппарата при соударении вагонов с целью получения диаграммы изменения давлений в предпоршневой и запоршневой камерах;
- оценка НДС внутренних волокон корпуса при помощи созданной конечно-элементной модели по экспериментально полученным законам изменения давлений.

Для экспериментальной оценки напряжённо-деформированного состояния наружных волокон корпуса амортизатора были проведены статические испытания опытных образцов эластомерного поглощающего аппарата на гидравлическом прессе ПР-1000, обеспечивающем максимальную силу сжатия 10000 кН и возможность плавного регулирования скорости сжатия от 0 до 50 мм/мин.

Датчик давления №2

Датчик давления №1

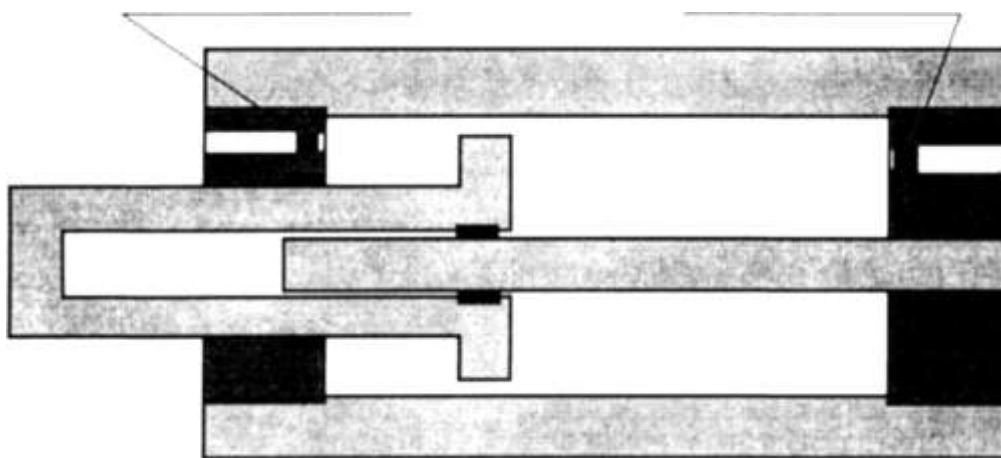


Рис. 1. Схема установки датчиков для измерения давления в камерах эластомерного амортизатора.

Для измерения величины хода использовался датчик перемещения индуктивного типа. Сила сопротивления амортизатора сжатию определялась при помощи специально изготовленной мессдозы, а также по показаниям тарированного манометра прессы. Давление в рабочих камерах эластомерного поглощающего аппарата автосцепки измерялось пьезоэлектрическими датчиками давления Т8000К с диапазоном рабочих давлений 0-800 МПа, установленными в дне заднем и дне переднем (рис. 1).

В результате обработки экспериментальных данных были получены зависимости рабочего давления в предпоршневой и запоршневой камерах, а также напряжений в наружных волокнах корпуса от величины хода при квазистатическом сжатии.

Для получения расчетных напряжений на внешней поверхности корпуса амортизатора и сравнения их с экспериментальными значениями для оценки достоверности расчетной схемы расчет производился методом конечных элементов при помощи программного комплекса ANSYS. Для повышения достоверности результатов в расчете помимо корпуса амортизатора учитывалось действие крышек. Конечно-элементная модель корпуса амортизатора (рис. 2) состояла из 14846 узлов и 9286 элементов.

Анализ результатов расчета показал, что максимальные расчетные напряжения хорошо согласуются с результатами эксперимента (расхождение не превышает 2.5%). Значительное расхождение результатов расчета и испытаний в крайних сечениях может быть объяснено погрешностью, вызванной влиянием способа соединения переднего и заднего дна с корпусом амортизатора. Расчетные напряжения близки к нулю, что хорошо согласуется с аналитическими расчетами толстостенных труб. Учитывая выше сказанное, можно сделать вывод о достаточной адекватности расчетной модели при определении максимальных напряжений в корпусе амортизатора.

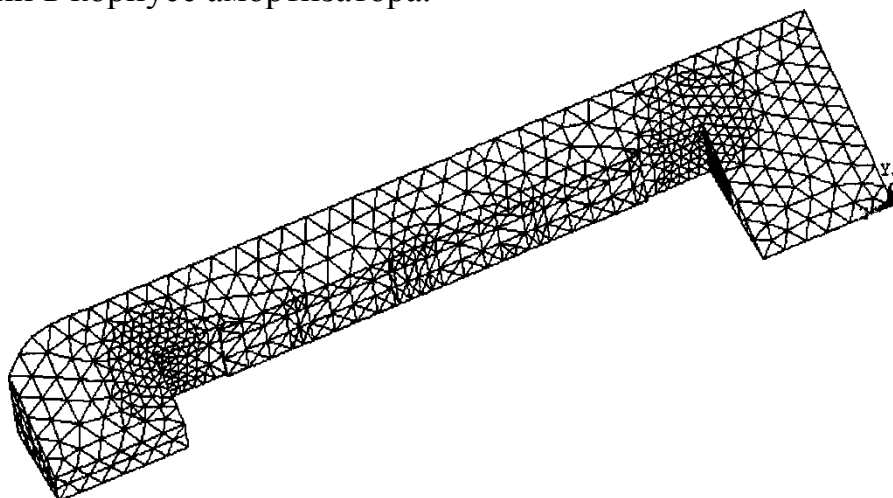


Рис. 2. Конечно-элементная модель корпуса амортизатора

Экспериментальное определение напряжённо-деформированного состояния корпуса эластомерного амортизатора, даже наружной поверхности, при соударении вагонов практически невозможно, т.к. конструкции автосцепного устройства и аппарата не позволяют использовать для этих целей тензодатчики. Поэтому при оценке прочности корпуса в условиях динамического нагружения особую значимость приобретают расчётные методы.

Основными факторами, влияющими на прочность корпуса при ударном нагружении, являются величины давлений в предпоршневой и запоршневой камерах амортизатора. Для их определения были проведены испытания опытных образцов эластомерного поглощающего аппарата при соударении вагонов.

В результате статистической обработки экспериментальных данных были получены регрессионные зависимости максимальных давлений в предпоршневой и запоршневой камерах от величины максимального хода аппарата (рис. 3). Близкие к 1 коэффициенты корреляции (0,916 и 0,919) свидетельствуют о линейной зависимости указанных величин.

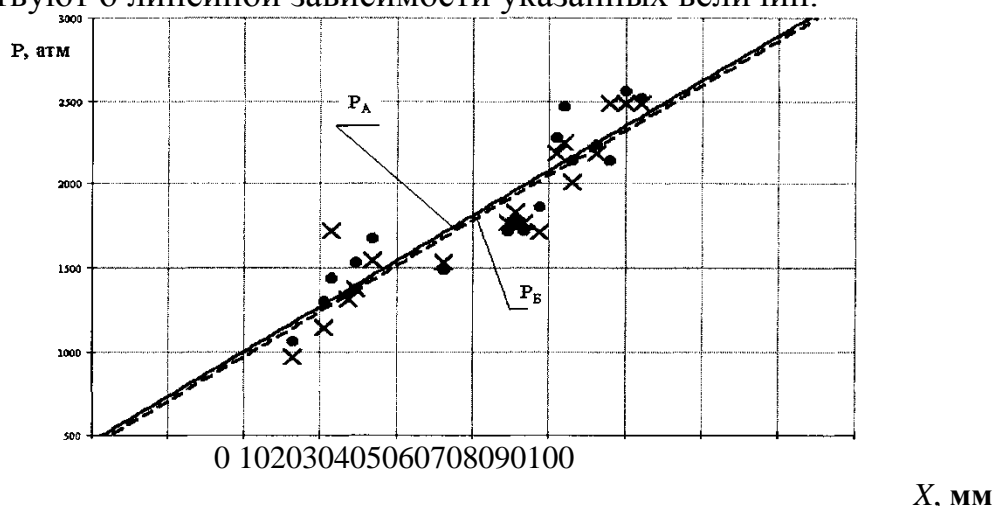


Рис. 3. Зависимости максимального давления в предпоршневой и запоршневой камерах от хода амортизатора

Анализ экспериментальных данных показал, что максимального значения давления в предпоршневой и запоршневой камерах достигают при максимальном сжатии эластомерного амортизатора. Таким образом, зависимость давления в рабочей камере амортизатора от хода при квазистатическом сжатии практически совпадает с зависимостями максимальных давлений от максимального хода при ударном сжатии. Этот факт, в совокупности с тем, что в формировании НДС корпуса основное значение имеют величины давлений, позволяет сделать предположение о том, что оценивать прочность корпуса эластомерного амортизатора можно по величине максимального давления при квазистатическом сжатии. Однако, при динамическом нагружении аппарата за счёт движения поршня и достаточно высокой разности давлений в предпоршневой и запоршневой камерах меняются условия работы корпуса. Поэтому с целью

подтверждения сделанного предположения был выполнен расчёт НДС внутренних волокон корпуса амортизатора при соударении вагонов с использованием разработанной конечно-элементной модели.

Выводы:

– разработанная конечно-элементная модель корпуса амортизатора адекватно отражает работу реальной конструкции при статическом и динамическом нагружении, что позволяет использовать ее для оценки прочности корпуса;

– оценку прочности корпуса эластомерного амортизатора можно производить по максимальным давлениям, полученным при статических испытаниях аппарата.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПОТОКА ГОРЯЧЕГО ВОЗДУХА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Пирожков А.Е., НТИ (филиал) УрФУ, аспирант

На скорость процесса отверждения формовочной смеси продувкой горячим воздухом влияют условия теплообмена с окружающей средой. Эти условия имитировали на экспериментальной установке (рис. 1), состоящей из воздушного компрессора (1), воздухонагревателя (2), трубопровода (3), помещенного в емкость с водой, и электронного термометра (4) для измерения температуры воды.

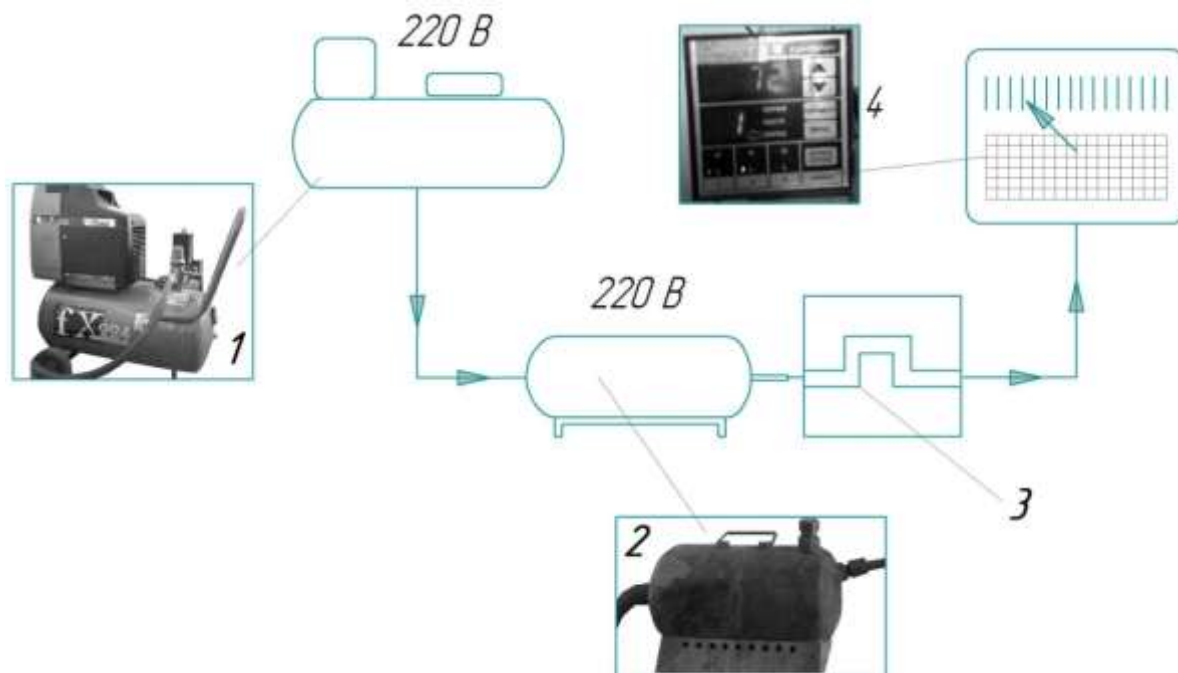


Рис. 1. Схема экспериментальной установки
1 – воздушный компрессор, 2 – воздухонагреватель, 3 – трубопровод,
4 – электронный термометр.

Был реализован план эксперимента. Варьировали давление воздуха, температуру воздуха, длину трубопровода и диаметр трубопровода (таблицы 1, 2). Выходной величиной является время нагрева воды на 50°С.

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	(X ₁) Давление воздуха p, атм	(X ₂) Температура воздуха t, °С	(X ₃) Длина трубы l, мм	(X ₄) Диаметр трубы d, мм
Нижний уровень	1	180	120	6
Средний уровень	3	200	360	8
Верхний уровень	5	220	600	10
Интервал варьирования	2	20	2	2

Таблица 2

Матрица планирования

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y
1	-	-	-	-	4,41
2	-	+	-	-	3,39
3	+	-	-	-	4,04
4	+	+	-	-	3,12
5	-	-	+	-	21,9
6	-	+	+	-	16,12
7	+	-	+	-	10,12
8	+	+	+	-	8,16
9	-	-	-	+	4,0
10	-	+	-	+	3,24
11	+	-	-	+	3,84
12	+	+	-	+	2,8
13	-	-	+	+	11,06
14	-	+	+	+	8,19
15	+	-	+	+	6,9
16	+	+	+	+	5,99

По результатам эксперимента получена математическая модель в кодированных переменных (1). Все коэффициенты факторов значимы.

$$y = 7,33 - 1,57 \cdot X_1 - 0,95 \cdot X_2 + 3,72 \cdot X_3 - 1,7 \cdot X_4 \quad (1)$$

Из уравнения (1) видно, что на время нагрева наибольшее влияние оказывает длина трубопровода, затем следуют диаметр трубы, давление и температура воздуха. Это не противоречит здравому смыслу.

Полученная информация отображает соответствие влияния факторов и в процессе отверждения формовочной смеси горячим воздухом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИОННОГО СОСТАВА НАТРИЕВЫХ СИЛИКАТНЫХ СИСТЕМ

*Фирстов А.П., доцент кафедры АТЛП, к.т.н., доцент
НТИ (филиал) УрФУ*

Исследование анионного состава силикатных систем на основе водных растворов Na-силикатов – одна из основных задач для понимания молекулярной структуры получаемых гелей.

Были изучены гелеобразующие системы, полученные из технического ($M_{исх.}=3,00$) жидкого стекла со щавелевой кислотой в качестве отвердителя. С целью получения гелей с различным временем потери подвижности (τ) концентрацию SiO_2 в опытах варьировали в диапазоне от 45,97 до 91,87 кг/м³. Для этого объемное соотношение компонентов в реакционной смеси $V_{Жид.стекло} : V_{Кислота}$ изменяли от 1:0,8 до 1:1. В разные моменты времени (τ) отбирались пробы гелеобразующих систем (водный раствор Na-силикатов – кислота), анализ которых на SiO_2 проводился калориметрическим методом с использованием ФЭК-56-2 при длине волны 400 нм (голубой светофильтр). Фотометрическое определение кремния основано на реакции образования желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты $H_4[Si(Mo_3O_{10})_4] \cdot H_2O$ с последующим ее восстановлением в виде кремнемолибденовой сини [1].

На рис. 1 приведены типичные кинетические кривые изменения оптической плотности (D_{400}) для системы, в которой происходит образование желтого кремнемолибдатного комплекса (β -КМК). Кривые зависимости D_{400} (τ) сняты на фотоэлектрическом колориметре ФЭК-56-2.

Полученные кривые анализировали с помощью методов расчета анионного состава силикатных систем. Из них путем графического дифференцирования с использованием констант скорости комплексообразования β -КМК получали анионные интегральные и дифференциальные кривые распределения силикат-анионов по степени конденсации [2].

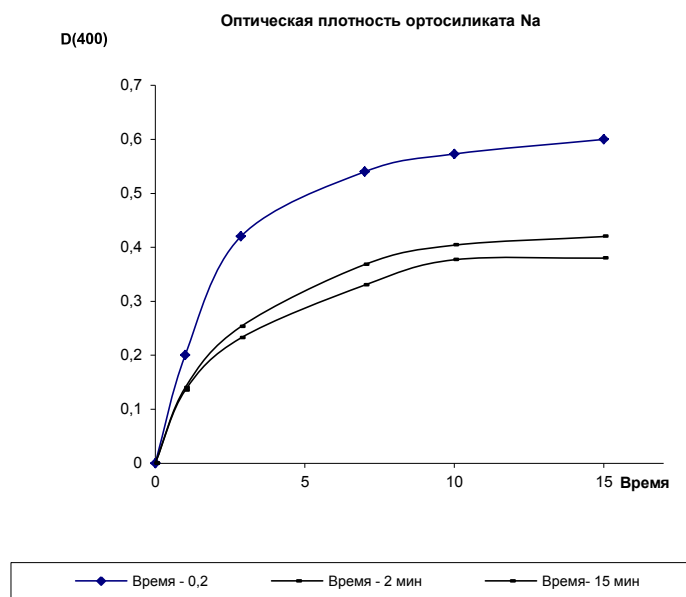


Рис. 1. Рост оптической плотности (D) при образовании β -КМК в системе силикат Na ($M_{исх.}=3,00$, $C_{SiO_2}=91,87 \text{ кг/м}^3$) – щавелевая кислота $V_{Жид.стекло} : V_{Кислота}$.
 Время взаимодействия: 1 – 0,2; 2-2,0; 3-15 мин

Применение данного метода для оценки ионного состава растворов силикатов натрия показало существование преимущественно силикат-анионов со степенью конденсации $5 \div 7$.

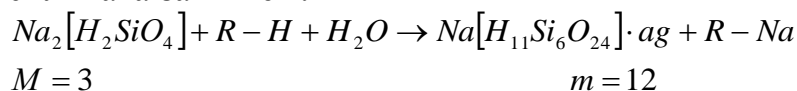
Полимерные кремнекислоты вступают в цветную реакцию через предварительное отщепление мономера и их взаимодействие с молибдатом протекает медленнее, т.е. скорость комплексообразования желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты определяется скоростью деполимеризации, которая, в свою очередь, уменьшается с увеличением числа атомов Si в силикатном анионе. В ходе реакции между компонентами гелеобразующей системы скорость образования β -КМК заметно снижается и процент связанного в кремнемолибдатный комплекс кремнезема через 10 мин после начала цветной реакции составляет 42,9; 41,2 и 34,3 кг/м^3 для времени взаимодействия силикатов натрия с щавелевой кислотой 0, 2 и 15 минут.

Изменение скорости процесса поликонденсации при изменении pH объясняется взаимодействием ионизированных и не ионизированных форм кремнекислоты, то есть, протеканием процесса по ионно-неионному механизму, причем максимальная скорость поликонденсации при pH 8,0...9,0 связана с оптимальным соотношением ионизированной и неионизированной форм $\text{H}_3\text{SiO}_4^{1-}/\text{H}_4\text{SiO}_4$ [3].

Таким образом, на процессы поликонденсации, протекающие в силикатных системах, значительное влияние оказывает pH среды. Обнаруженные в исследуемых гелеобразующих системах в области высоких pH 10...11 анионные комплексы принимают участие в

фазообразовании высокомолекулярных гидросиликатов. Возможность существования данных олигомеров подтверждает ранее высказанное предположение об их значимости для процессов образования новых фаз [4].

На основании этих данных можно внести следующее предположение в схему реакции взаимодействия силикатов натрия с кислотами. Полагая кремнеземистый модуль стекла равный 3, среднюю степень поликонденсации силикат-аниона равной 6, и с учетом гидролиза исходного Na-силиката запишем:



Библиографический список

1. Григорьев О.Н. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / О.Н. Григорьев [и др.]. – М.: Химия, 1964. – С. 331.
2. Богданова В.И. Реакция между силикат- и молибдат- ионами как способ оценки полимерности кремнекислот / В.И. Богданова // Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. хим. н.. – 1970. – Вып. 2. – № 4. – С. 82 – 87.
3. Лукьянова О.И. Исследование коллоидных фаз в системе Na₂O-СаО-SiO₂-H₂O / О.И. Лукьянова, И.Ю. Уварова, Б.П. Уланов // Журнал прикл. химии. – 1968. – Т. 41. – Вып. 7. – С. 1430–1439.
4. Айлер Р. Химия кремнезема : в 2 т. – М. : Мир, 1982. – 1127 с.

КОМПЬЮТЕР В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Н.Д. Фирстова, ст. преподаватель кафедры ИТ, НТИ (филиал) УрФУ

В современном мире, в связи с быстрым ритмом жизни человечества, увеличивается темп восприятия информации как в процессе профессиональной деятельности, так и в повседневной жизни. Информация становится реальной производственной силой, от количества и качества которой зависит результат многих производственных процессов.

Компьютер используется как новый графический инструмент при решении традиционных учебных задач и служит целью повышения качества обучения в профессиональной деятельности.

Приоритетным направлением совершенствования традиционных методов обучения при графической подготовке студентов технических специальностей является использование информационных технологий при организации учебного процесса, т.е. использование средств компьютерной графики в процессе обучения инженерной графике.

В целом компьютерные технологии становятся неотъемлемой частью повседневной жизни современного человека. Преимущества компьютерной технологии в интенсификации и активизации обучения, индивидуализации учебного процесса, реализации творческого характера обучения должны быть использованы в процессе обучения начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике.

Применение компьютерных технологий в образовании предоставляет большие возможности как преподавателю, так и студентам. С помощью компьютера активизируется работа студентов с учебным материалом, повышается их активность, развиваются творческие способности.

К дисциплинам, формирующим навыки графической инженерной деятельности, относятся начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. Начертательная геометрия является первой дисциплиной графического цикла, изучаемого в ВУЗе. Процесс изучения начертательной геометрии совпадает с периодом адаптации студентов в высшем учебном заведении. Далее следует изучение инженерной графики, и не подлежит сомнению, что успешное освоение начертательной геометрии способствует более легкому изучению других дисциплин графического цикла.

Изучение начертательной геометрии ведется традиционными методами, половина учебного времени отводится изучению проекций геометрических примитивов, решению позиционных и метрических задач. Методы их решения отработаны: любая задача начертательной геометрии может быть решена точно, просто и быстро с использованием современных систем компьютерной графики, например «AutoCAD».

В процессе познания инженерной графики и начертательной геометрии особое значение приобретает автоматизация чертежных работ, когда на определенной стадии учебного процесса требуется приобретение новых графических навыков, присущих компьютерной графике.

Решение графических задач представляется студентам в виде плоских и пространственных чертежей, схем, моделей.

Использование средств компьютерной графики позволяет на современном уровне решать такие учебно-воспитательные задачи, как трудовая политехническая и профессиональная подготовка студентов технических специальностей к условиям современного производства; формирование основ компьютерной инженерной графики; умение составлять чертежно-графическую документацию.

Наиболее удобной для использования в изучении азов компьютерной графики является программа «AutoCAD». «AutoCAD» – это комплекс автоматизированных систем для решения широкого круга задач проектирования, конструирования, подготовки производства в различных областях деятельности человека. «AutoCAD» быстро и легко осваивается

студентами, значительно ускоряя процесс разработки чертежной документации и заметно повышая ее качество. В любой момент студенту доступен исчерпывающий режим помощи, выполнение всех операций сопровождается подробными подсказками.

Система «AutoCAD» полностью обеспечивает создание полного компьютеризованного учебного курса «Инженерная графика», а также использование программных средств для выполнения графических работ, предусмотренных рабочей программой по данной дисциплине.

Система «AutoCAD» предназначена для создания двухмерных чертежей, соответствующих требованиям ЕСКД, а также возможно поверхностное и твердотельное моделирование. При создании трехмерных моделей возможно использование следующих вариантов отображения: каркасное представление, с показом невидимых линий, со скрытыми невидимыми линиями, закрашенное с кромками и закрашенное. Работа с трехмерными моделями развивает пространственное воображение.

Освоив принцип работы в «AutoCAD», студент легко может начать работать с другой системой графического построения чего-либо. Для данных специальностей необходимо научиться совмещать знания, полученные при изучении начертательной геометрии и черчения с владением любой графической компьютерной системой, причем, чем универсальнее система, тем лучше. Именно такой системой и является «AutoCAD».

Применение графических пакетов оказывает огромную помощь в восприятии и понимании начертательной геометрии и инженерной графики, а также способствует развитию студенческих научных исследований, интенсификации использования студентами полученных теоретических знаний. Это и есть те основные задачи, которые стоят в настоящее время перед высшим образованием.

Библиографический список

1. Иванов Н. Компьютерное образование // Компьютер Пресс, 1996, №8. – с. 6.
2. Машбиц Е.И. Компьютеризация обучения: проблемы и перспективы /Е.И. Машбиц. М.: Знание, 1986. – 80 с.
3. Хейфец А.Л., Инженерная компьютерная графика. AutoCad. Опыт преподавания и широта взгляда. М.: Диалог-МИФИ 2004 – 432 с.
4. Хресточевский С. Мультимедиа в образовании // Компьютер Пресс, 1996, №8. - С. 7-10.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Аминев А.В., Блохин А.В., филиал УрФУ в г. В. Салда

Лабораторный практикум предназначен для студентов высших учебных заведений технических и технологических специальностей и направлений подготовки, в учебных планах которых предусмотрено изучение курса «Электротехника и электроника». Практикум ориентирован на студентов неэлектротехнических специальностей и направлений.

Технической основой лабораторного практикума служит лабораторный стенд, выпускаемый научно-производственным предприятием «Учтех-Профи». Общий вид стенда представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из 20 модулей, электромашинного агрегата, цифрового фототахометра, цифрового измерителя мощности, персонального компьютера и программно-аппаратного комплекса *Delta Profi*.

В число модулей входят модуль операционного усилителя, функционального генератора, миллиамперметров, нелинейных элементов, питания, мультиметров, ввода-вывода, резисторов, трехфазного трансформатора, генератора постоянного тока, логических элементов и триггеров, диодов, однофазного выпрямителя, однофазного трансформатора, автотрансформатора, реактивных элементов, трехфазного напряжения, двигателя постоянного тока, два измерительных модуля.

Электрические схемы эксперимента по каждой лабораторной работе собираются студентами с помощью соединительных проводов, объединяющих различные модули в функциональные устройства.

Особенностью использования описываемого лабораторного стенда является применение программно-аппаратного комплекса *Delta Profi*. Программно-аппаратный комплекс предназначен для измерения, отображения и обработки аналоговых сигналов, формирования аналоговых и дискретных сигналов управления, обеспечивающих функции защиты, автоматического и дистанционного управления, автоматизации проведения экспериментов. Ввод и вывод аналоговых и дискретных сигналов осуществляется через специализированную плату ввода-вывода с интерфейсом *USB 2.0*, являющуюся составляющей программно-аппаратного комплекса *Delta Profi*. Интерфейс программы содержит главное меню, кнопки быстрого доступа и основную рабочую область, состоящую из нескольких закладок, каждая из которых предназначена для выполнения определенных функций. Функциональные возможности программно-аппаратного комплекса *Delta Profi* позволяют достаточно просто модернизировать существующие лабораторные работы и создавать новые.

Программная часть комплекса *Delta Profi* позволяет работать в четырех режимах: осциллограммы, зависимости, регистратора и мнемосхемы.

Режим осциллограмм предназначен для отображения осциллограмм мгновенных значений сигналов и измерения их параметров в режиме реального времени. Рабочая область программы в данном режиме может содержать до 4 графиков и до 6 измерительных приборов. Одна из возможных конфигураций рабочей области в режиме осциллограмм приведена на рис. 2.

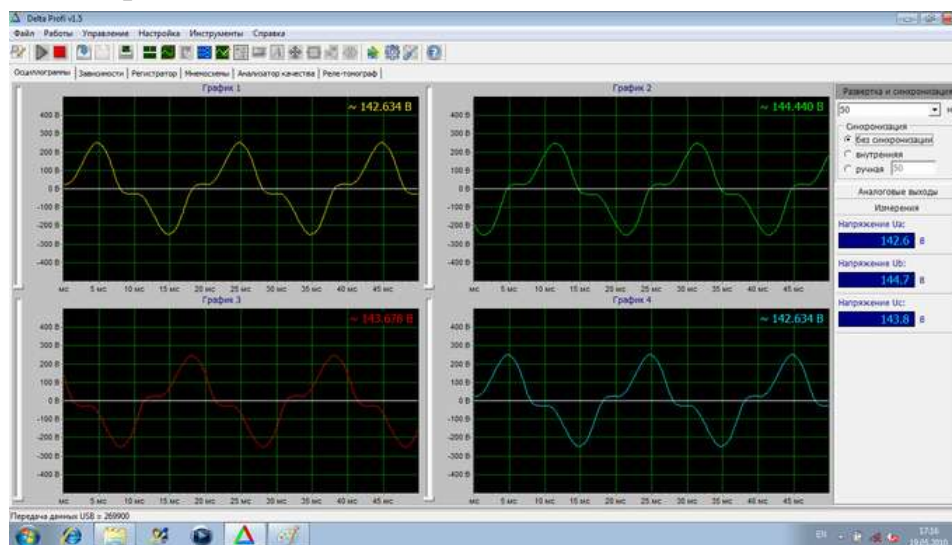


Рис. 2. Одна из возможных конфигураций рабочей области в режиме осциллограмм

Режим зависимостей предназначен для автоматического снятия функциональных зависимостей между значениями входных аналоговых сигналов и/или сигналов управления. Основная рабочая область представляет собой координатную сетку X-Y, на которой отображается до 4 зависимостей. Зависимости представляют собой функции четырех входных сигналов от одного аргумента. В качестве аргумента может использоваться как один из аналоговых выходов платы ввода-вывода, так и один из входных аналоговых сигналов.

Регистратор используется для записи изменения мгновенных значений входных аналоговых сигналов во времени с возможностью их дальнейшего просмотра (регистрирующий осциллограф). Основная рабочая область программы в данном режиме работы содержит до 4 графиков, расположенных друг под другом. На каждом графике может отображаться до 3 входных сигналов.

Режим мнемосхем предназначен для отображения схемы исследуемой цепи и показаний виртуальных измерительных приборов. Один из вариантов рабочей области в режиме мнемосхемы приведен на рис. 3.

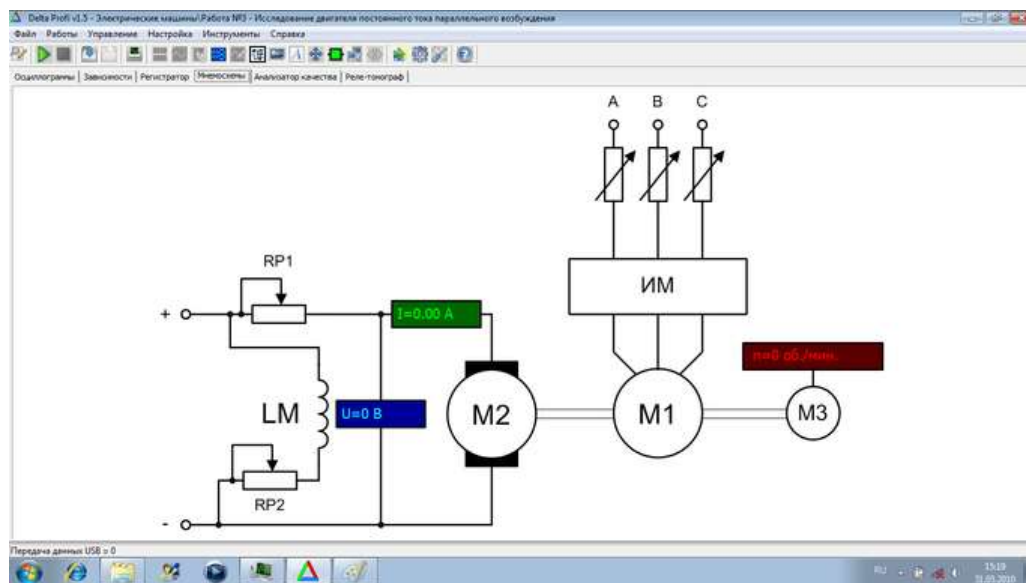


Рис. 3. Рабочая область в режиме мнемосхема

Лабораторный практикум разбит на три цикла – электрические цепи, электромеханика и электроника. В цикле электрических цепей рассматриваются линейные и нелинейные цепи постоянного и переменного тока, трехфазные цепи, электроизмерительные приборы и измерения, линейная и нелинейная электрические цепи постоянного тока, экспериментальное определение параметров элементов цепей переменного тока, электрические цепи с последовательным и параллельным соединением элементов, трехфазные цепи с соединением потребителей по схемам «звезда» и «треугольник». В цикле электромеханики

предусмотрены лабораторные работы с генераторами и двигателями постоянного и переменного токов. В цикле электроники выполняются работы по элементам и электронным устройствам аналоговой и цифровой схемотехники: полупроводниковые диоды и транзисторы, однофазный выпрямитель, операционный усилитель, логические элементы и триггеры на интегральных микросхемах, счетчики импульсов и др.

Теоретической основой лабораторного практикума, внедренного на филиале УрФУ в г. В.Салда, служат учебные пособия [1, 2] и методические указания по выполнению лабораторных работ [3-8], ориентированные на студентов технических и технологических специальностей, изучающих курс «Электротехника и электроника» в рамках бакалаврской и магистерской подготовки.

Библиографический список

1. Аминев А.В., Блохин А.В. Электроника : учебное пособие / А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 214с.

2. Блохин А.В. Электротехника : учебное пособие / А.В. Блохин. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 185 с.

3. Электротехника : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. А.В. Блохин, Е.В. Вострецова. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 24 с.

4. Ознакомление с измерительными приборами и устройством лабораторного стенда : методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 13 с.

5. Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей по схеме «звезда» : методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 10 с.

6. Трехфазная электрическая цепь при соединении потребителей по схеме «треугольник» : методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 9 с.

7. Изучение однофазного выпрямителя : методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 12 с.

8. Логические элементы на интегральных микросхемах : методические указания по выполнению лабораторной работы / сост. А.В. Аминев, А.В. Блохин. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 9 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТА КОНВЕРТОРА

*Тимофеев В. Л., к.т.н. доцент каф. АТПС,
Буславьев А. С., студент НТИ (филиал) УрФУ*

От четкой и надежной работы электропривода поворота конвертора зависит как производительность процесса выплавки стали, так и качество этой стали. За цикл «заливка чугуна – выгрузка стали» конвертор совершает несколько (до 10) поворотов вокруг своей оси подвеса. Все эти перемещения совершаются с различными значениями скорости.

До последнего времени основным вариантом электропривода являлся регулируемый электропривод постоянного тока на основе двигателя с независимым возбуждением. Для регулирования скорости используются тиристорные выпрямители (преобразователи).

Применяемые двигатели требуют регулярного обслуживания (чистка и расточка коллектора, чистка и замена щеток), что увеличивает эксплуатационные расходы. Кроме того, при работе электропривода на малых скоростях резко снижается коэффициент мощности электропривода в месте его подключения к сети, что увеличивает потребление электроэнергии из-за увеличения потребления реактивной энергии при том же расходе активной энергии, затрачиваемой на выполнение технологического процесса.

Так как механизм является очень ответственным, используется резервирование электроприводов. В рассматриваемом случае использован 4-х двигательный вариант. Моменты всех 4-х двигателей и номинальные скорости вращения одинаковы. Каждый из двигателей выбирается исходя из возможности продолжения нормального хода технологического процесса при выходе из строя одного из двигателей.

В качестве основных задач исследования рассматривались:

- определение изменения момента сопротивления и момента инерции при выполнении заданных операция (слив пробы, слив шлака, слив стали и т.д.);
- выбор ускорения (замедления);
- расчет параметров механизма, двигателей и преобразователей частоты;
- выбор основного способа управления преобразователем;
- исследование переходных процессов.

График изменения момента сопротивления M_c и момента инерции J механизма относительно оси вращения при сливе стали определены при помощи физического приложения тройных интегралов (нахождение центра тяжести садки, а также её объема)

Графики момента сопротивления и момента инерции при сливе стали показаны на рис. 1. и рис. 2. соответственно.

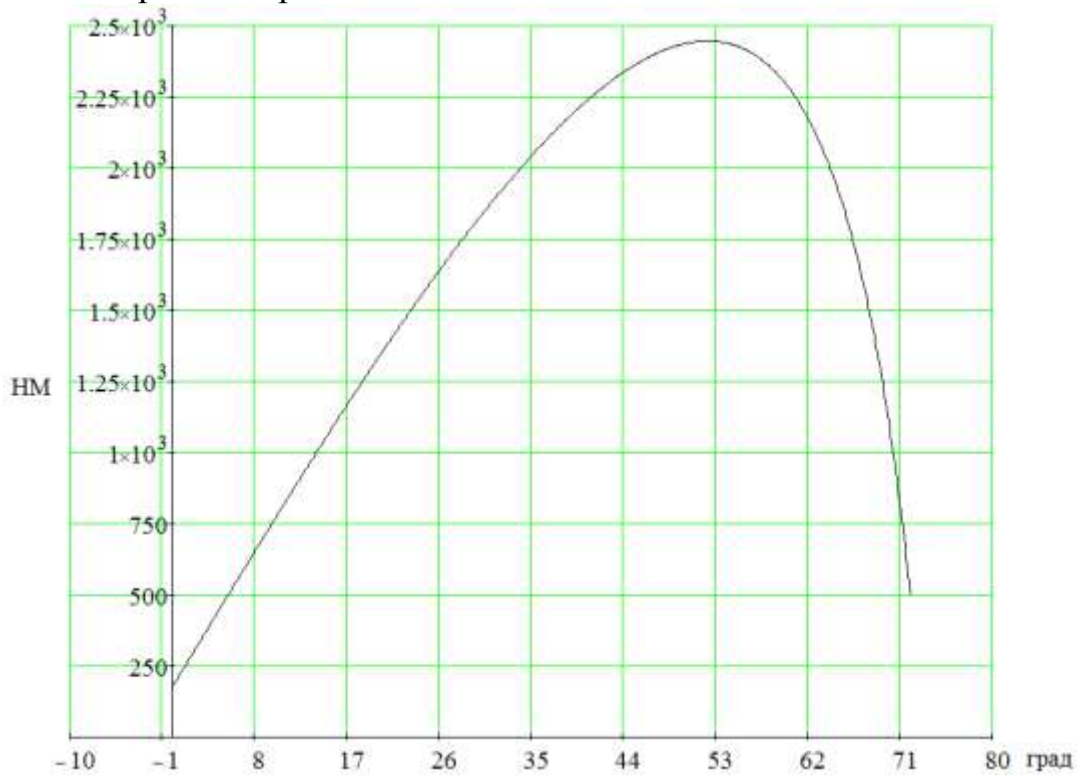


Рис. 1. Момент сопротивления

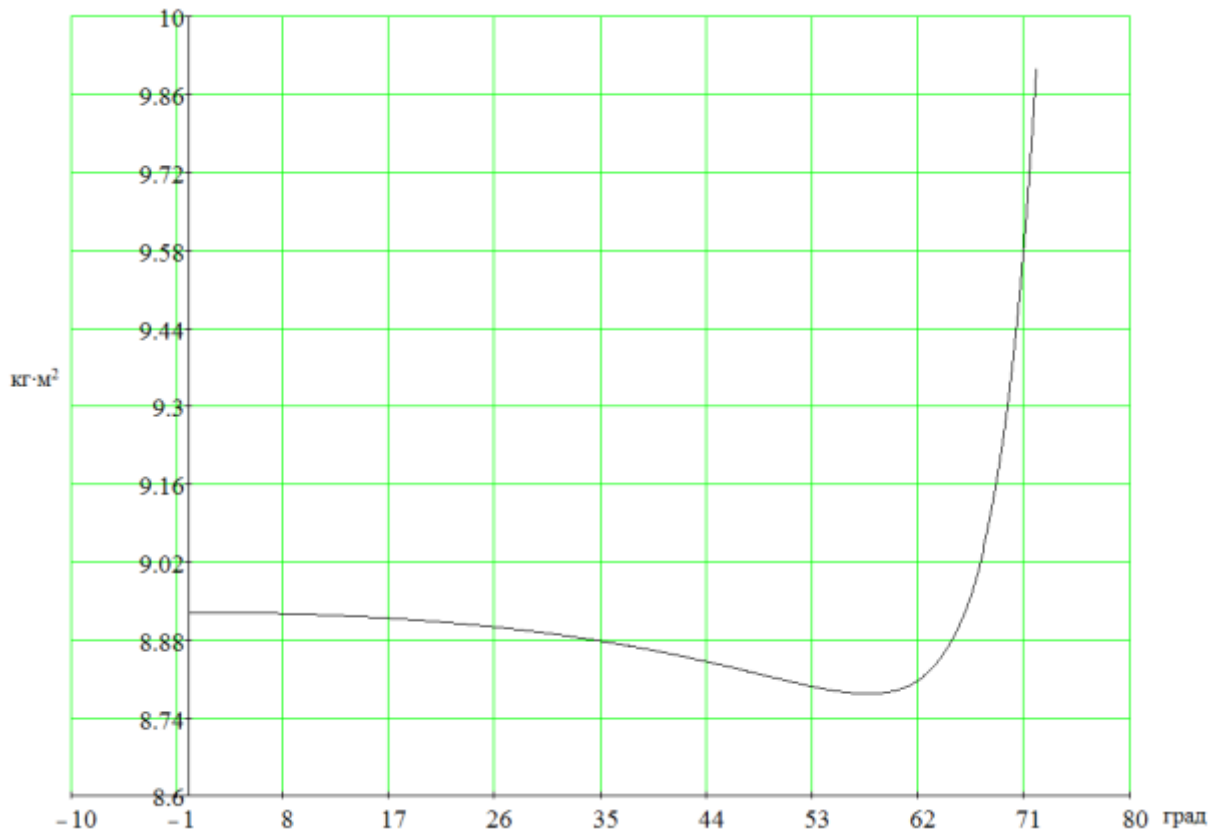


Рис. 2. Момент инерции

Мощность двигателей определяется по максимальному моменту в начале хода, а максимальное ускорение по максимальному моменту.

Учитывая особые условия работы механизма (возможность расплескивания жидкого металла) ускорения при разгоне и торможении ограничим величиной 22.13 рад/с^2 .

Преобразователи выбираются исходя из их перегрузочной способности $\lambda_{\text{п}} = 1.5$ в течение 3 с.

Исходя из технологических требований, выбирается векторный способ управления преобразователем частоты. При этом с учетом ориентации вектора потокосцепления ротора обеспечивается большая (теоретически бесконечная) перегрузочная способность двигателя, что облегчает создание удерживающего момента при промежуточных положениях конвертора.

Система регулирования скорости предусматривает выравнивание загрузки двигателей как в базовом 4-х двигательном, так и в аварийном 3-х двигательном вариантах. С целью обеспечения точной отработки перемещений (заданных углов поворота) система снабжена контуром регулирования положения.

Работоспособность системы проверялась с помощью математического моделирования с использованием пакета MatLab с приложением Simulink.

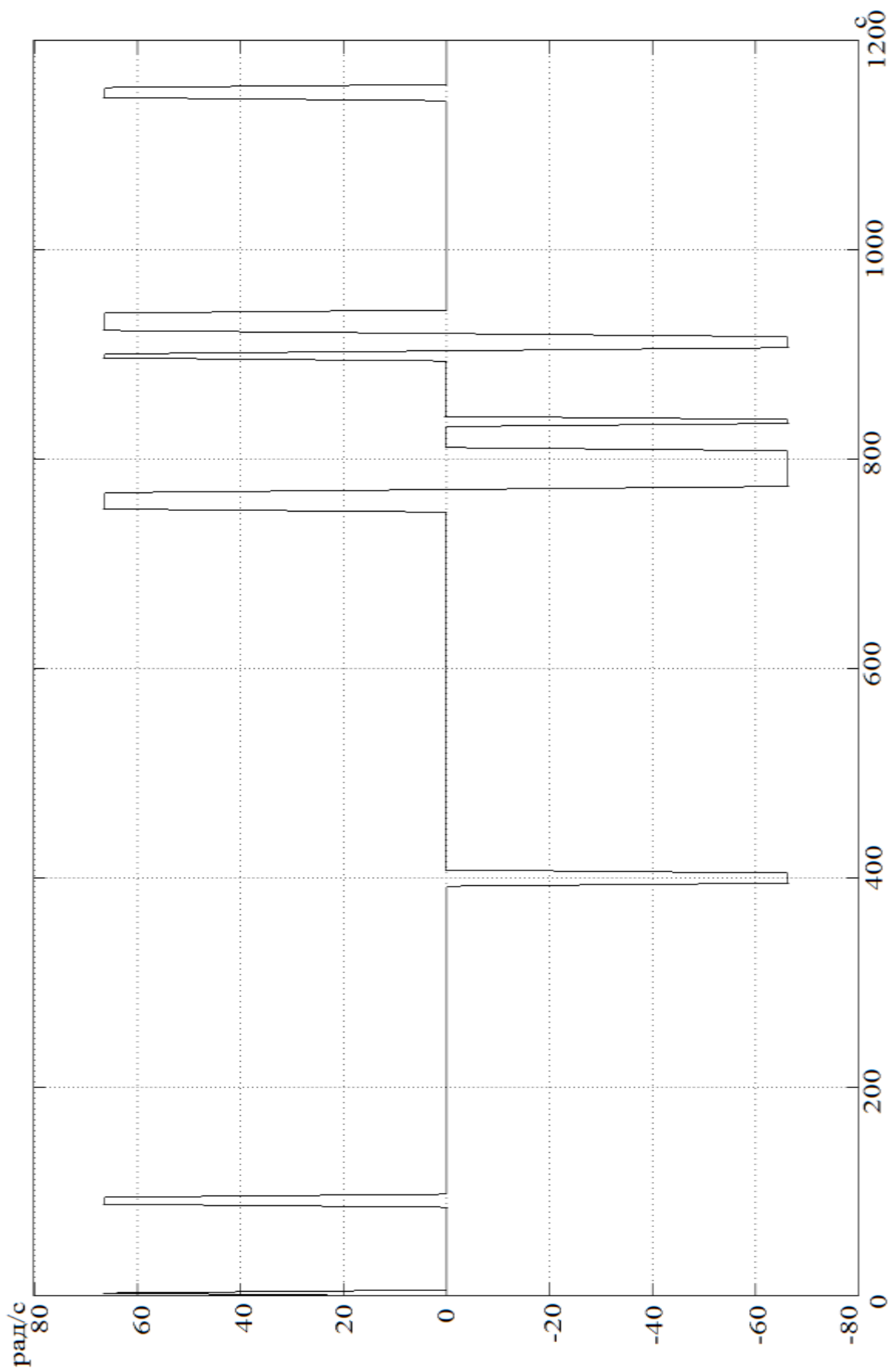


Рис. 3. Тахограмма

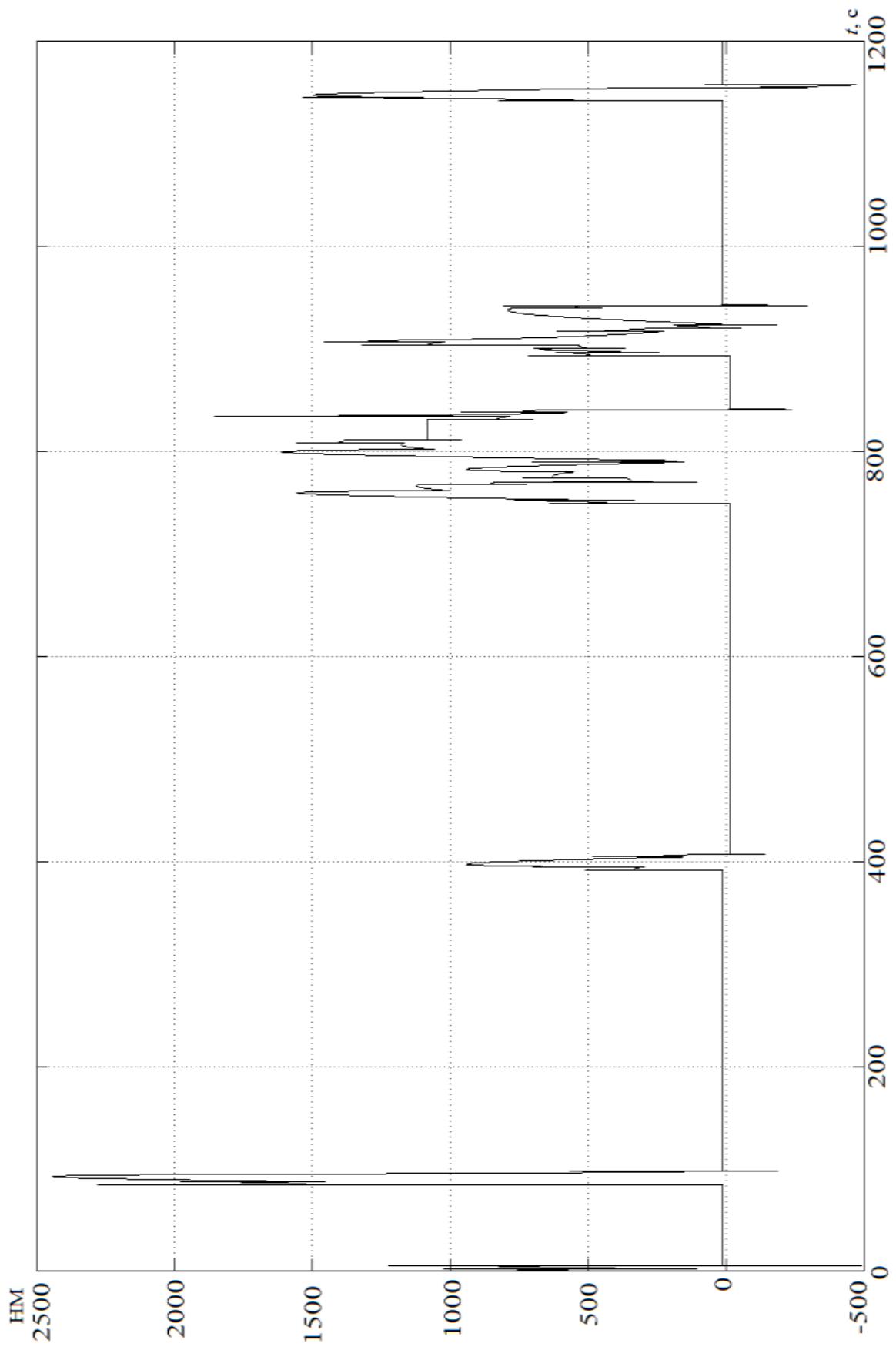


Рис. 4. Момент двигателя

Если все двигатели и системы регулирования идентичны, то на первом этапе исследования можно рассматривать однодвигательный вариант электропривода с уменьшением значения момента сопротивления и момента инерции в 4 раза для штатного режима работы и в 3 раза для аварийного режима.

Результаты моделирования однодвигательного варианта при нормальном режиме работы привода приведены на рис. 3. и рис. 4.

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

*Гоман В.В., Федорев С.А., каф. ЭЭС УрФУ
Усков И.А., Жуков А.В., Дарьин А.К., студенты УрФУ*

Соединение различных элементов электрической цепи и подсоединение проводников к источникам или потребителям электроэнергии осуществляется при помощи контактных соединений. Электрический контакт – это место перехода тока из одной токоведущей детали в другую. Часто соединение проводников между собой осуществляется за счет нажатия одного токоведущего элемента на другой с помощью болтов. Это наименее затратный и широко распространенный способ, дающий удовлетворительную устойчивость к агрессивным средам и коррозии. По конструктивно-технологическому признаку рассматривались разборные контактные соединения. По роду связи токоведущих частей соединения относятся к сжимным механическим контактам. Монтажно-эксплуатационное назначение – соединительное.

Снижение переходного сопротивления в электрическом контакте дает следующие основные преимущества:

1. уменьшение потерь электроэнергии;
2. увеличение срока службы соединения, т.е. уменьшение затрат на ремонты и обслуживание.

Основными способами снижения переходного сопротивления являются:

1. зачистка рабочих поверхностей контакт-деталей (имеет временный эффект, т.к. оксидные пленки достаточно быстро образуются вновь);
2. применение токопроводящих смазок. Рассматривалась смазка «Суперконт», предоставленная для экспериментов ООО «Берс», г. Екатеринбург. Смазка легко наносится, стабилизирует переходное сопротивление, однако, по отзывам с предприятий при длительной эксплуатации, сопряженной с нагревами, склонна к высыханию и пригоранию к рабочим поверхностям контактов;

3. применение различных металлопокрытий, наносимых различным путем (гальваника, электроискровой метод, плазменная наплавка и т.д.). В нашем случае рассматривалось металлопокрытие на основе галлиевого сплава, наносимое в низкотемпературном режиме, что по сравнению с другими способами дает возможность нанести покрытие в условиях эксплуатации на реальное оборудование (т.к. прочие способы нанесения металлопокрытий требуют нагрева до высокой температуры и специального оборудования).

При проведении лабораторных работ по дисциплине «Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий» студентами НТИ (филиал) УрФУ специальности 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» рассматривалась тема «Способы снижения переходного сопротивления в разборных контактных соединениях».

Были получены следующие результаты применения различных способов снижения переходного контактного сопротивления.

Рассматривались контактные соединения (показаны на рис. 1-3):

1. Алюминий-алюминий, размером 50x50 мм, стянуто болтом М8 с шайбами.
2. Алюминий-алюминий, размером 50x25 мм, стянуто болтом М8 с шайбами.
3. Медь-медь, размером 15x15 мм, стянуто болтом М6 с шайбами.



Рис. 1. Исследуемые образцы



Рис. 2. Соединение №2 с нанесенной смазкой «Суперконт»



Рис. 3. Соединение №3

Таблица

Результаты экспериментов

Соединение	Сопротивление, мкОм, незачищенные поверхности	Сопротивление, мкОм, незачищенные поверхности+ «Суперконт»	Сопротивление, мкОм, зачищенные поверхности + «Суперконт»	Сопротивление, мкОм, металлопокрытие
1	19	12	11	12
2	12	10	9	9
3	15	-	12	12

Применение смазок и металлопокрытия дает приблизительно одинаковый результат, начальное переходное сопротивление снижается. В дальнейшем планируется проводить мониторинг переходного сопротивления для определения временных зависимостей, а также испытания под нагрузкой с циклическими нагревами.

Библиографический список

1. ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.
2. ГОСТ 14312-79. Контакты электрические. Термины и определения.
3. ГОСТ 17441-84. Соединения контактные электрические. Приемка и методы испытаний.
4. ГОСТ 24606.3-82. Методы измерения сопротивления контакта и динамической и статической нестабильности переходного сопротивления контакта.
5. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. – Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2008.

ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

*Гоман В.В., Федорев С.А., каф. ЭЭС УрФУ
Усков И.А., Жуков А.В., Дарьин А.К., студенты УрФУ*

Любое разборное контактное соединение (РКС) состоит из двух контакт-деталей, рабочие (токопередающие) поверхности которых прижимаются друг к другу механической силой, которая называется контактным нажатием. Из-за волнистости и шероховатости реальных рабочих поверхностей под действием этой силы в материалах контакт-деталей возникает пластическая или упругая деформация. Поэтому начальные точки соприкосновения рабочих поверхностей контакт-деталей превращаются в небольшие контактные поверхности (пятна), которые способствуют дальнейшему сближению рабочих поверхностей и образованию новых пятен. Сумма всех этих соприкасающихся поверхностей (пятен) составляет контактную поверхность, воспринимающую усилие контактного нажатия P_n . Эта поверхность называется условной площадью контактирования (S_y), которая, как правило, в сотни раз меньше рабочей площади контакт-детали (S_p). Очевидно, что S_y является функцией от P_n .

Предельное контактное нажатие ограничивается пределом упругости материала контакт-детали. Увеличение контактного нажатия выше этого предела приводит к пластической деформации всей рабочей поверхности, при которой металл начинает течь, а электрическое сопротивление РКС резко увеличивается. Таким образом, формирование условной площади

контактирования происходит под действием силы контактного нажатия, предельно допустимая величина которой зависит от твердости материала контакт-детали.

Обычно условная поверхность контактирования частично покрыта изоляционными окисными пленками. Поэтому только часть ее имеет металлический или квазиметаллический контакт, если она покрыта тонкой пленкой, через которую проникают электроны благодаря туннельному эффекту. Эта часть условной площади контактирования, по которой электрический ток переходит из одной контакт-детали в другую, называется эффективной площадью контактирования $S_{\text{э}}$.

Таким образом, в состав рабочей площади контакт-деталей S_p входят:

S_p – геометрическая рабочая площадь;

S_y – условная площадь контактирования, воспринимающая силу контактного нажатия;

$S_{\text{э}}$ – эффективная площадь контактирования, способная пропускать электрический ток;

S_0 – площадь, не имеющая механического соприкосновения, которая при отсутствии пластической деформации всей поверхности материала контакт-детали не воспринимает силу контактного нажатия.

Эффективную площадь контактирования, в свою очередь, можно представить как сумму площадей металлического и квазиметаллического контакта: $S_{\text{э}} = S_M + S_K$.

Исследования показывают, что ток в РКС течет главным образом через пятна металлического контакта, которые образуются либо при разрыве окисных пленок на эффективной поверхности, либо за счет фриттинга. Фриттинг представляет собой электрический пробой, который возникает, когда величина электрического поля внутри окисной пленки достигает такого значения, которое может вызвать образование тонкого металлического мостика в пленке. Если окисная пленка достаточно тонка и пропускает электроны с помощью туннельного эффекта, то фриттинг не возникает.

Электрическое сопротивление РКС R_k состоит из собственного сопротивления материала контакт-деталей ($R_{\text{кд}}$) и переходного сопротивления на границе рабочих поверхностей ($R_{\text{пер}}$). Переходное сопротивление зоны контакта $R_{\text{пер}}$ определяется эффективной площадью контактирования $S_{\text{э}}$ и по величине, как правило, практически равно сопротивлению РКС, т.е. $R_k \approx R_{\text{пер}}$.

Так как эффективная площадь контактирования представляет собой отдельные пятна металлического контакта, то линии электрического тока стягиваются к этим небольшим токопроводящим мостикам, которые имеются на обоих контакт-детали, вследствие этого возникает сопротивление стягивания R_C . Следовательно, наличие R_C означает увеличение электрического сопротивления зоны контактирования по сравнению с тем, которое было бы в случае полного металлического контакта на рабочей поверхности контакт-детали.

Однако, переходное сопротивление $R_{\text{ПЕР}}$ чаще всего оказывается больше сопротивления стягивания, которое можно рассматривать как функцию от эффективной площади контактирования. Это объясняется наличием на этой поверхности окисных пленок, которые вносят дополнительное сопротивление. Термин «переходное сопротивление» сохраняется независимо от того, является ли он чистым сопротивлением стягивания или же имеется окисная пленка, которая создает дополнительное сопротивление на эффективной площади контактирования.

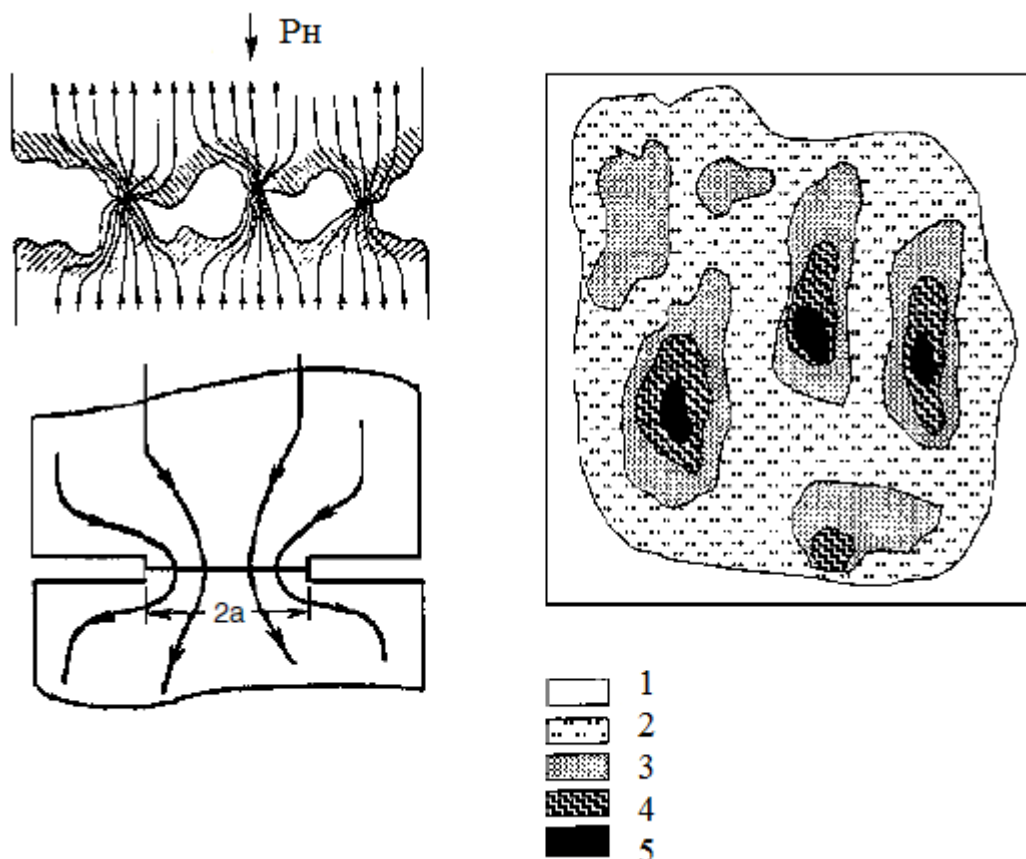


Рис. 1. Схема прохождения электрического тока в РКС.

1 – рабочая площадь контакт-детали; 2 – условная площадь контактирования, несущая нагрузку (упругая деформация); 3 – эффективная (реальная) площадь контактирования (пластическая деформация); 4 – площадь с квазиметаллической проводимостью (пленки); 5 – пятна металлического контакта.

Библиографический список

1. Хольм Р. Электрические контакты. – М.: Ин. Лит., 1961.
2. Маркова Л.В., Кончиц В.В., Мышкин Н.К. Экспериментальное изучения формирования металлических пятен контакта // Трение и износ. Т. 16, №2, 1995. С. 267-274.
3. ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКРАСКИ ВАГОНОВ

*Дербенев О.В., студент гр. 490704 – ЭиЭПОУ НТИ (филиал) УрФУ
Кожеев В.Н., к. т. н., доцент кафедры АТПС НТИ (филиал) УрФУ*

В цехе покраски вагонов смонтированы две независимые автоматические линии, по которым вагоны подаются на отдельные рабочие позиции. Управление каждой линией ведется от своего программируемого логического контроллера «SIEMENS С7-300». При этом управление функциями общими для обеих линий (вентиляцией станции подготовки лакокрасочных материалов, очисткой сточных вод и т.д.) осуществляется контроллером первой линии.

Входы и выходы удаленных технологических объектов смонтированы в пяти распределительных щитах вместе с операционными панелями «SIMATIC-TP177В».

На рабочем месте оператора установлены два персональных компьютера с программным обеспечением «Reliance 4», предназначенным для мониторинга технологического процесса и управления им.

Поскольку обе линии идентичны, на рис. 1 представлена структурная схема системы управления одной из них.

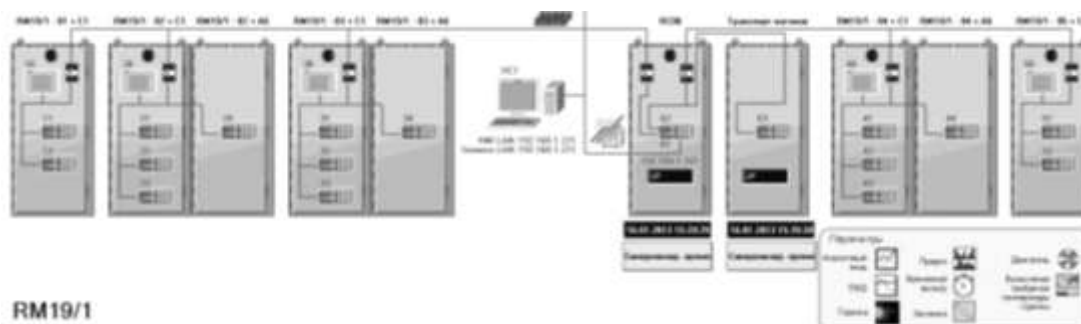


Рис.1. Структурная схема АСУ первой линии

С учетом отечественного и зарубежного опыта можно выделить ряд общих принципов построения систем диспетчерского управления и сбора данных сложных систем.

1. Принцип достаточности регламентирует выбор минимального числа датчиков, обеспечивающих наблюдаемость состояния динамической системы.

2. Принцип информационной полноты заключается в том, что для оценки состояния должна использоваться вся полученная информация.

3. Принцип инвариантности определяет выбор таких диагностических признаков, которые инвариантны к структуре системы и тесно связаны с параметрами ее технического состояния

4. Принцип самодиагностики всех измерительных и управляющих каналов АСУ обеспечивает легкий ввод систем в эксплуатацию, простоту обслуживания и ремонта.

5. Принцип дружелюбности человеко-машинного интерфейса значительно повышает эффективность взаимодействия оператора с системой и практически сводит к нулю его ошибки при управлении.

6. Принцип многоуровневой организации обеспечивает работу с системой специалистами разных уровней квалификации и ответственности, а также позволяет удовлетворять любознательность персонала по мере повышения его квалификации.

Одной из наиболее сложных задач разработки автоматизированной системы управления является создание программного обеспечения. Обычно для этой цели используются готовые программные инструменты, имеющиеся на рынке.

Архитектурно типичная система программного обеспечения состоит из ряда подсистем: безопасности, баз данных, транспортов, коммуникационных протоколов обмена, сбора данных, архивов, управления модулями, специальных функций.

Важной функцией системы является функция мониторинга. При ее реализации используется объектный подход. Основными объектами визуализации являются: мотор (вентилятор, насос); вентиль (клапан, ворота); горелка; клавиша; дисплей измеренных величин (требуемых величин, ввода параметров). Эти объекты входят в состав более крупных элементов – блочных агрегатов.

Экран дисплея, используемого в системе, делится на три части. В верхней расположено меню основного программного обеспечения, в нижней размещены сообщения системы и клавиши переключения. Средняя часть используется в качестве окна технологического процесса: системного, технологического или параметров.

Дисплеи, используемые в системе мониторинга, подразделяются на два вида: обзорные (рис. 2) и дисплеи распределительных щитов (рис. 3).

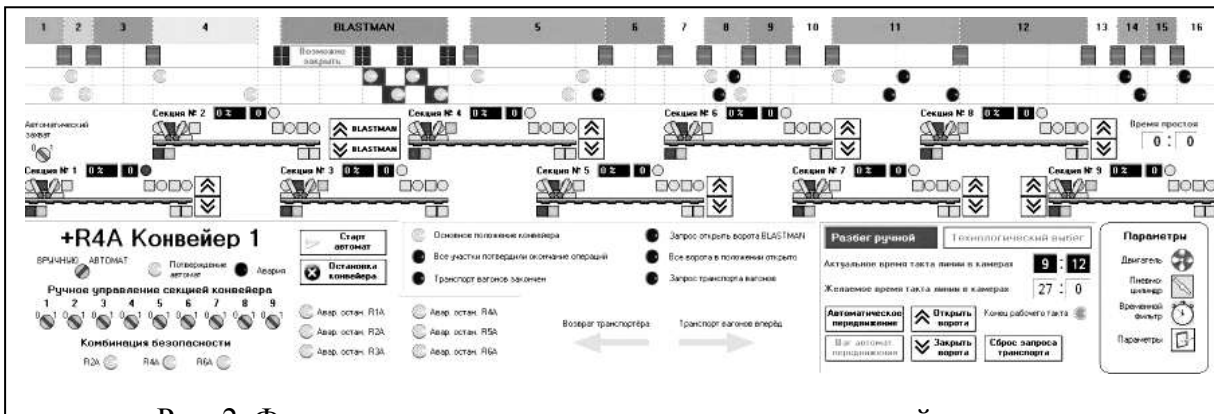


Рис. 2. Фрагмент технологического окна дисплея конвейера

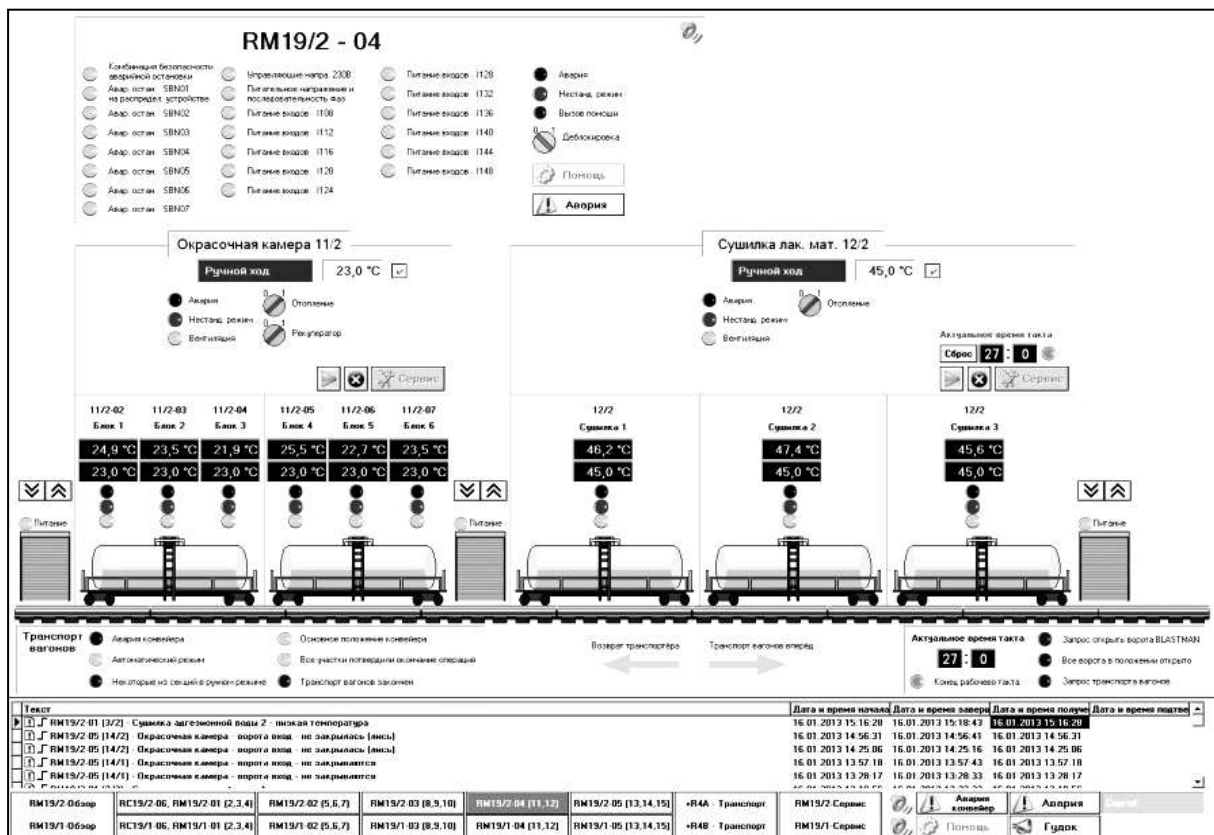


Рис. 3. Вид дисплея распределительного щита

Операторские панели TP 177В (рис. 4) могут использоваться в качестве системного или диагностического дисплея, добавления и редактирования установок пользователя, получения сведений о проекте, системных установках, информации о системе.

Внедрение рассмотренной системы позволит увеличить производительность,

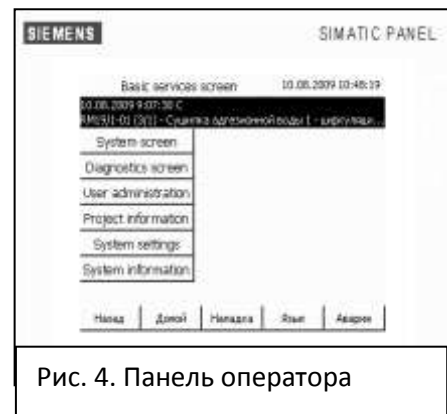


Рис. 4. Панель оператора

повысить качество выпускаемой продукции, улучшить условия труда.

Библиографический список

1. Андреев В.С. Программно-технические комплексы для распределенных АСУ ТП с инструментальными средствами проектирования программного обеспечения // Приборы и системы управления, 1994 № 10 с. 8 -11.

2. АСУ ТП на базе программно-технического комплекса «Ом-мега» / Одобряев В, Юрасов В. // Современные технологии автоматизации, 2004 №4, с. 20-24.

3. Шмаков Э.М. Автоматизация проектирования средств получения измерительной информации: Учебное пособие. Л.:ЛПИ, 1984.

К ВОПРОСУ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Иванушкин В.А., доцент каф. АТПС НТИ (филиал) УрФУ, к.т.н.
Буславьев А.С., Грац П.А., Пушница Д.В., студенты НТИ (филиал) УрФУ*

Многопозиционные механизмы (пассажирские и грузовые лифты, подъемники шахт, автооператоры гальванических линий и т.п.) относятся к классу подъемно-транспортных установок с фиксированными промежуточными остановками вдоль трассы перемещения. В отличие от двухпозиционных, а также многопозиционных механизмов, для которых остановка и последующее движение заранее и однозначно определено (например, манипуляторы и механизмы позиционирования сварочных автоматов линий сварки крышек люков и боковин цельно-металлических полувагонов и т.п.), для многопозиционных механизмов указанного класса после каждой остановки системе управления приходится решать задачу о выборе направления последующего перемещения.

Основным узлом систем управления подобных механизмов является электрический селектор (лат. *selektio* – выбор, отбор). С помощью селектора (например, в лифтах) обеспечивается:

- выбор направления движения подъемной кабины;
- замедление по вызову и приказу;
- контроль и сигнализация положения кабины (слежение за перемещением кабины с точностью до этажного расстояния кабины в шахте);
- контроль прибытия кабины на этаж;
- автоматическое выравнивание уровней пола кабины и этажной площадки;

- автоматическое открывание дверей,
- автоматическое снятие исполненного вызова (приказа) и др.

В работе приводятся результаты синтеза структур основных компонентов электрического селектора методом ориентированных нагруженных графов. При этом синтез осуществляется в следующей последовательности: составляются графы элементарных операций управления для каждого из компонентов, производится минимизация графов, составляется математическое описание результирующих графов, выполняется стадия программной реализации алгоритмов управления.

В зависимости от реакции на команды («приказы» из кабины или «вызовы» с этажных площадок) и принципа их отработки различают системы:

- раздельного управления, при котором система воспринимает и обрабатывает только одну команду и во время ее выполнения не реагирует на другие вызовы и приказы (применяется в основном для лифтов жилых домов высотой до десяти этажей с относительно небольшим потоком пассажиров);

- собирательного управления, при котором система воспринимает несколько команд и выполняет их в определенной очередности, (обычно в порядке следования этажей, применяется в жилых высотных домах, административных и учебных зданиях, гостиницах с большим потоком пассажиров),

- частично-собирательного управления, при котором на спуск воспринимаются системой только попутные вызовы и не воспринимаются вызовы при подъеме и т.п.

Основой электрического селектора таких систем управления часто является поэтажный тактовый опрос источников этажной информации (этажных датчиков, кнопок приказов и вызовов) для определения положения кабины, наличия приказа или вызова и формирования командных сигналов на перемещение кабины по вызову или приказу. Принципиально опрос указанных источников может быть:

- маятниковым (последовательно в двух направлениях, например, сначала снизу вверх, а затем сверху вниз),

- однонаправленным (только снизу вверх или только сверху вниз).

Функцию опроса в электрических селекторах выполняет тактовый распределитель, поочередно распределяющий входные импульсы внутреннего генератора по отдельным выходным цепям. Сравнительная характеристика тактовых распределителей при двух видах опроса показывает целесообразность применения однонаправленного опроса, вследствие минимального числа требуемых элементов памяти m ($m = n + 2$, где n – количество фиксированных остановок).

Структура тактового распределителя при однонаправленном опросе сформирована на основе его графа управления и описывается следующей системой уравнений:

$$A_0 = /A_1 /A_2 \quad /A_{n-1} /A_{n+2}, A_i = \text{ПА}_i (a_i, b_i).$$

Здесь a_i, b_i – функции установки и сброса i -го элемента памяти, определяемые в соответствии с логическими выражениями:

- для первого элемента – $a_1 = A_0 g, b_1 = A_2$;
- для второго и последующих i -х четных – $a_i = A_{i-1} /g, b_i = A_{i+1}$;
- для третьего и последующих j -х нечетных – $a_j = A_{j-1} g, b_j = A_{j+1}$;
- для конечного нечетного (при n – нечетном) – $a_{n+2} = A_{n-1} g, b_{n+2} = A_{n+2} /g$,

где g – выходной сигнал внутреннего генератора импульсов тактового распределителя, задающего частоту опроса датчиков положения кабины и кнопок этажей, u – сигнал управления.

Функции установки i -х выходов R_i опроса состояния датчика кабины, кнопок приказа и вызова i -го этажа определяются в соответствии с выражением $R_i = A_i$, где i принимает значения целых чисел в пределах от 1 до n . Соответственно функция возбуждения выхода R_{n+1} окончания цикла опроса имеет вид – $R_{n+1} = A_{n+1}$.

Импульсные выходы тактового распределителя (R_i) связаны с входами модулей формирования импульсных признаков: наличия кабины (K_i) на i -ом этаже шахты, наличия i -го приказа (P_i) из кабины, наличия вызова (V_i) с i -ой этажной площадки. Структура указанных модулей сформирована на основе логических уравнений – $K_i = R_1 D_{K1} + R_2 D_{K2} + \dots + R_{n-1} D_{K_{n-1}} + R_n D_{K_n}$,

$$P_i = R_1 P_1 + R_2 P_2 + \dots + R_{n-1} P_{n-1} + R_n P_n; V_i = R_1 V_1 + R_2 V_2 + \dots + R_{n-1} V_{n-1} + R_n V_n.$$

Здесь ($D_{K1} - D_{K_n}$) – выходные сигналы этажных датчиков (кабина на i -ом этаже), ($P_1 - P_n$) – выходные сигналы модуля приказов из кабины, ($V_1 - V_n$) – выходные сигналы модуля вызовов с этажей.

Структура модуля выбора направления движения кабины и разрешения открывания дверей при однонаправленном опросе определена на основе своего графа управления. Математическое описание данного модуля включает следующую систему уравнений:

$$A_0 = /A_1 /A_2 /A_3 /A_4;$$

$$A_1 = \text{ПА}_1 (a_1, b_1), \text{ где } a_1 = A_0 K_i / (P_i + V_i), b_1 = A_2 + A_1 R_{n+1};$$

$$A_2 = \text{ПА}_2 (a_2, b_2), \text{ где } a_2 = A_1 (P_i + V_i), b_2 = A_2 R_{n+1};$$

$$A_3 = \text{ПА}_3 (a_3, b_3), \text{ где } a_3 = A_0 (P_i + V_i) / K_i, b_3 = A_4 + A_3 R_{n+1};$$

$$A_4 = \text{ПА}_4 (a_4, b_4), \text{ где } a_4 = A_3 K_i, b_4 = A_3 R_{n+1}.$$

Уравнения импульсных выходов этого модуля: признак приказа «кабина вверх» – $K \uparrow = A_2$; признак приказа «кабина вниз» – $K \downarrow = A_4$, признак приказа «разрешение открывания дверей» – $Dv \Rightarrow = K_i (P_i + V_i)$.

При маятниковом опросе структура и математическое описание указанного модуля аналогичны. Отличие определяется необходимостью учета направления опроса и очередности фиксации текущего положения кабины в шахте, а также вызова или приказа. Для этого в функцию установки a_1 памяти A_1 следует добавить признак направления опроса «вверх» (m_1), т.е. $a_1 = A_0 K_i / (P_i + V_i) m_1$. Дополнительно следует выполнить коррекцию функций сброса памяти A_1 и A_2 , приняв $b_1 = A_2 + A_1 m_2$, а $b_2 = A_2 m_2$ (где m_2 – память начала опроса «вниз»). Кроме того, необходимо изменить условия установки a_3 памяти A_3 с учетом направления опроса (приняв $a_3 = A_0 K_i / (P_i + V_i) * m_2$), условия установки a_4 памяти A_4 ($a_4 = A_3 (P_i + V_i)$), а также условия сброса b_3 памяти A_3 ($b_3 = A_4 + A_3 m_1$), условия сброса b_4 памяти A_4 ($b_4 = A_4 m_1$).

В целом модуль контроля и индикации положения кабины в шахте реализован на $3n-2$ элементах памяти. В результате исследования исходного графа данного модуля установлено, что его структура может быть сформирована из n однотипных модулей, описываемых системой уравнений:

$$A_0 = /A_1 /A_2 /A_3;$$

$$A_1 = ПА_1 (a_1, b_1), \text{ где } a_1 = A_0 DK_i, b_1 = A_2 + A_3;$$

$$A_2 = ПА_2 (a_2, b_2), \text{ где } a_2 = A_1 K_{\downarrow} / DK_i, b_2 = DK_{i-1} / H_{i,i-1} / Z_{i,i-1};$$

$$A_3 = ПА_3 (a_3, b_3), \text{ где } a_3 = A_1 K_{\uparrow} / DK_i, b_3 = DK_{i+1} / H_{i,i+1} / Z_{i,i+1};$$

Уравнения выходов i -го данного модуля:

- индикатор i -го положения кабины (потенциальный) – $H_i = A_i$;
- индикатор движения кабины вниз (импульсный) – $H_{i,i-1} = A_2 T_m / DK_{i-1}$;
- индикатор межэтажной зоны при движении вниз (расширенный импульс на расстояние между соседними этажами) – $Z_{i,i-1\downarrow} = A_2 / DK_{i-1}$;
- индикатор движения кабины вверх (импульсный) – $H_{i,i+1} = A_3 T_m / DK_{i+1}$;
- индикатор межэтажной зоны при движении вверх (расширенный импульс на расстояние между соседними этажами) – $Z_{i,i+1\uparrow} = A_3 / DK_{i+1}$,

где T_m – выходной сигнал внутреннего таймера мигания.

Кроме того, модуль содержит два дополнительных выхода, формируемых в соответствии с логическими выражениями:

$$Z_{\uparrow} = Z_{1,2\uparrow} + Z_{2,3\uparrow} + \dots + Z_{n-2,n-1\uparrow} + Z_{n-1,n\uparrow},$$

$$Z_{\downarrow} = Z_{n,n-1\downarrow} + Z_{n-1,n-2\downarrow} + \dots + Z_{3,2\downarrow} + Z_{2,1\downarrow},$$

где Z_{\uparrow} , Z_{\downarrow} – признаки движения кабины соответственно вверх и вниз.

Входными переменными модуля замедления движения кабины по вызову/приказу и автоматического выравнивания уровней пола кабины и этажной площадки являются:

- выходные сигналы модуля контроля и индикации $Z_{i,i-1\downarrow}$ и $Z_{i,i+1\uparrow}$ (сигналы нахождения кабины в межэтажных зонах при движении кабины вниз и вверх соответственно);
- выходные сигналы модулей формирования импульсных признаков наличия кабины (K_i) на i -ом этаже шахты, наличия i -го приказа из кабины (P_i), наличия вызова с i -ой этажной площадки (V_i);
- сигналы датчиков замедления при движении кабины соответственно вверх ($Dz\uparrow$) и вниз ($Dz\downarrow$);
- сигналы датчиков точной остановки при движении кабины соответственно ($DT\uparrow$) и вниз ($DT\downarrow$),
- сигналы окончания позиционирования с хода вверх (Sbv) и вниз (Sbn).

Граф управления модуля при однонаправленном опросе описывается системой уравнений:

$$A_0 = /A_1 /A_2 /A_3 /A_4;$$

$$A_1 = ПА_1 (a_1, b_1), \text{ где } a_1 = A_0 Z_{i,i+1\uparrow} (P_{i+1} + V_{i+1}) Dz\uparrow, b_1 = A_2;$$

$$A_2 = ПА_2 (a_2, b_2), \text{ где } a_2 = A_1 DT\uparrow, b_2 = A_2 K_i Sbv;$$

$$A_3 = ПА_3 (a_3, b_3), \text{ где } a_3 = A_0 Z_{i,i-1\downarrow} (P_{i-1} + V_{i-1}) Dz\downarrow, b_3 = A_4;$$

$$A_4 = ПА_4 (a_4, b_4), \text{ где } a_4 = A_3 DT\downarrow, b_4 = A_4 K_i Sbn.$$

Уравнения выходов данного модуля: $M\uparrow = A_1$ – малая скорость вверх; $\Pi\uparrow = A_2$ – выравнивание с хода вверх (позиционирование), $M\downarrow = A_3$ – малая скорость вниз, $\Pi\downarrow = A_4$ – выравнивание с хода вниз (позиционирование).

Анализ функционирования компонентов синтезированных структур рассматриваемой системы выполнен в программе Simulink пакета Matlab. Приведенные алгоритмы управления рассчитаны на программную реализацию на базе устройств с свободно-программируемой логикой. Реализация алгоритмов не требует применения специализированных контроллеров и основана на использовании типовых логических операций (И, ИЛИ, НЕ), функций установки входных, промежуточных и выходных переменных по условию, а также функций установки и сброса указанных переменных с фиксацией.

ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Исаев И.Н., к.т.н., доцент НТИ (филиал) УрФУ

В настоящее время вместо отдельных компонентов в центре внимания находятся комплексные приводные решения, разработанные для подъёмно-транспортного оборудования, для всех процессов

автомобилестроения, робототехники, производства различных упаковочных машин, а также целого ряда других областей. Используются стандартные трёхфазные электродвигатели, синхронные и асинхронные серводвигатели или среднечастотные двигатели, если требуются максимальные обороты. Приводы часто работают без передаточных чисел редуктора, как прямые приводы. Кроме того, применяются сервоприводы, выполненные в комплекте с редуктором. Привод управляется преобразователем частоты с векторным управлением, которое обеспечивает хорошее постоянство числа оборотов. Преобразователи обеспечивают выходные частоты выше 500 Герц для того, чтобы достичь высоких частот вращения инструментальных приводов. Если требования к постоянству числа оборотов или приёмистости высоки, можно использовать сервопреобразователи с точной регулировкой числа оборотов. Редукторы служат в качестве преобразователей числа оборотов и крутящего момента.

Через передаточное отношение в редукторе число оборотов и крутящий момент двигателя подстраиваются под рабочую точку машины. Для комбинирования двигателя и редуктора (редукторного двигателя) существуют два принципиальных исполнения:

- при установке через сцепление и картер можно установить стандартные двигатели. Из-за сцепления, однако, возникает дополнительная эластичность, влияющая на приводные характеристики.

- при прямой установке электродвигатель и редуктор являются интегрированной единицей. Электродвигатель является одновременно частью первой ступени редуктора.

Решение задач привода для приводов ходовой части:

- рельсовый транспорт;
- мостовые или порталные краны;
- электрические подвесные дороги;
- стеллажное оборудование;
- транспортные системы без оператора.

Решение задач привода для подъёмных приводов:

- грузовые лифты, краны и лебедки;
- подъёмные механизмы в стеллажном оборудовании;
- подъёмные платформы и столы;
- пассажирские лифты, эскалаторы.

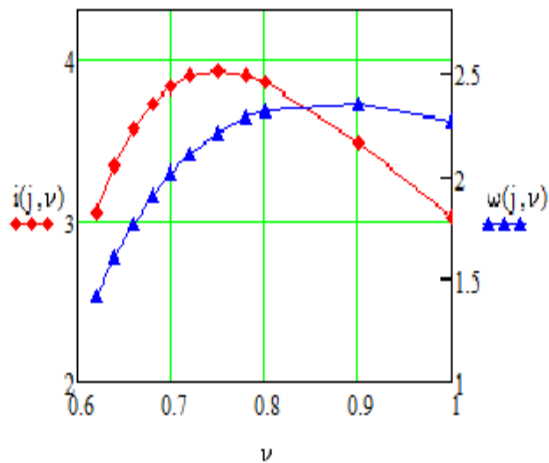
Решения задач привода для поперечной резки и летучей пилы:

- резка;
- распиловка;
- штампование;
- сварка.

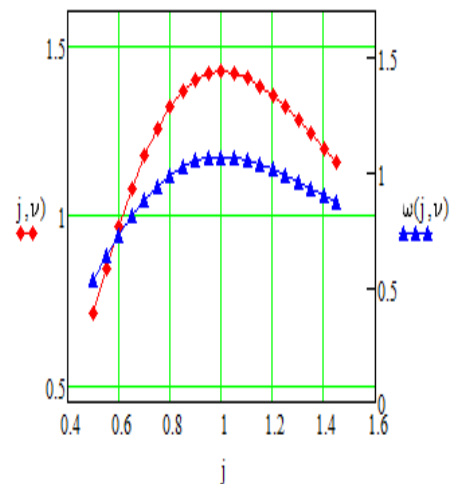
Решения задач для инструментального привода:

- обрабатывающие центры;
- фрезерные, сверлильные, токарные, фрезерно-отрезные станки;
- полировальные и шлифовальные станки.

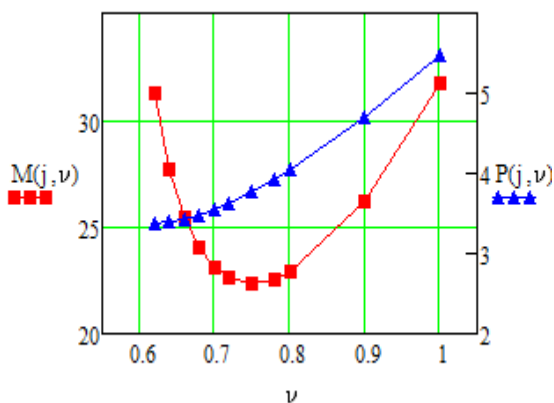
Большой выбор электродвигателей семейства МАD обуславливает их применение в сервоприводах и приводах главного шпинделя, например, на металлообрабатывающих станках, печатных машинах или в технологии обработки давлением. Системы датчиков с высокой разрешающей способностью в одно- и многооборотном исполнении, а также исключительное качество кругового движения без радиального биения обеспечивают очень высокую точность обработки. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и с управлением ориентированным полем также называют серводвигателем переменного тока. По его основной конструкции и способу управления этот двигатель похож на хорошо известный трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Как и сервомотор, асинхронный двигатель имеет конструкцию с малым моментом инерции, малыми потерями и малым скольжением и управляется специальным устройством, которое обеспечивает перпендикулярность потоков статора и ротора относительно друг друга. Это позволяет асинхронному двигателю быть управляемым почти до критического момента, делает его подходящим для высокودинамичных применений. Недостатками этого двигателя (в сравнении с двигателем с постоянными магнитами) являются его более низкий к.п.д. и несколько больший объем устройства при одинаковом вращающем моменте. Ротору присущи потери от тока, которых нет в двигателе с ротором на постоянных магнитах. В связи с более высокими потерями (кпд – η) и потребности в намагничивающей составляющей тока ($\cos \phi$) асинхронной машины, мощность преобразователя должна быть выше в $(1 / \eta \cos \phi)$ раз. Кроме того, должен быть учтен отвод тепла, особенно в диапазоне малых скоростей. Цены по сравнению с другими приводами выше в связи со сложной обработкой в высокودинамичных системах. Это главным образом связано с использованием импульсного датчика (инкодера) высокого разрешения и мощных быстродействующих микропроцессоров. Процессор должен непрерывно рассчитывать токи статора в зависимости от положения ротора и требуемых моментов и параметров намагничивания. Ранее эти привода обычно использовались в качестве мощных главных приводов в машиностроении. Однако ожидается увеличение использования этих приводов в связи с удешевлением электронных компонентов и использованием более дешевых двигателей.



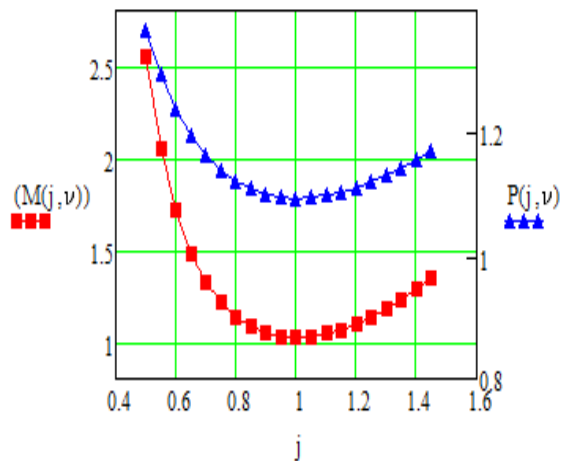
а)



б)



в)



г)

Рис.1. Графические зависимости основных параметров привода от обобщённых аргументов

В настоящей статье выполнен анализ электромеханической части, где основные параметры (мощность, момент и скорость двигателя а также, передаточное число редуктора) представлены как непрерывные функции таких аргументов как коэффициент тахограммы (ν) и относительное передаточное число редуктора (j), где за базу принято отношение моментов инерции механизма и двигателя. Аналогичный подход использовался в [1] для анализа привода постоянного тока. В настоящей работе приводятся результаты этих исследований для асинхронного сервопривода, что, как указано ранее, является более актуальным в наше время. На рис. 1(а-г) представлены графические зависимости указанных основных параметров от названных аргументов. Разработана программа расчёта и оптимизации этих параметров с приложением к различным сериям серводвигателей.

Библиографический список

1. И.Н. Исаев, В.Г. Созонов. Электропривод механизмов циклического действия - М; Энергоатомиздат, 1994.

СИСТЕМА НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ ИНДУКЦИОННЫМ ТОКОМ С ДВУМЯ СОСТАВЛЯЮЩИМИ

Исаев И.Н., к.т.н., доцент НТИ (филиал) УрФУ

Индукционный нагрев – это нагревание материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем. Следовательно, это нагрев изделий из проводящих материалов (проводников) магнитным полем индукторов (источников переменного магнитного поля). Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая (металлическая, графитовая) заготовка помещается в индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода (чаще всего медного). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от десятка Гц до нескольких МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла.

На высокой частоте вихревые токи вытесняются образованным ими же магнитным полем в тонкие поверхностные слои заготовки (поверхностный эффект), в результате чего их плотность резко возрастает, и заготовка разогревается. Нижерасположенные слои металла прогреваются за счёт теплопроводности. Чем выше частота, тем значительнее относительная плотность тока на поверхности обрабатываемой детали. Понижая рабочую частоту на установке индукционного нагрева, можно увеличивать глубину проникновения поля. Совмещая в токе индуктора высокочастотную и низкочастотную составляющие можно значительно ускорить разогрев заготовки и вытеснение вихревых токов в поверхностный слой. Таким образом, предлагаемый вид индукционного нагрева (одновременное использование высоких и низких частот) формирует тепло прямо внутри детали. Энергия почти не рассеивается вокруг, что определяет малую длительность технологического цикла и высокую производительность.

Система «индуктор-заготовка» представляет собой бессердечниковый трансформатор, в котором индуктор является первичной обмоткой. Заготовка является вторичной обмоткой, замкнутой накоротко. Магнитный поток между обмотками замыкается по воздуху [1].

Для питания индуктора в настоящее время используется обычный преобразователь частоты, который называется генератором. Один из вариантов предлагается в [2], где генератор реализован по схеме "неуправляемый выпрямитель – импульсный регулятор постоянного тока – инвертор тока. Применение инвертора тока позволяет исключить протекание больших реактивных токов через полупроводниковые приборы и дает возможность транспортировать энергию до индуктора с минимальными потерями. Для реализации вышеизложенного метода нагрева заготовки за счёт индукционного тока из двух составляющих в настоящей работе предлагается система, модель которой в программе Matlab представлена на рис. 1.

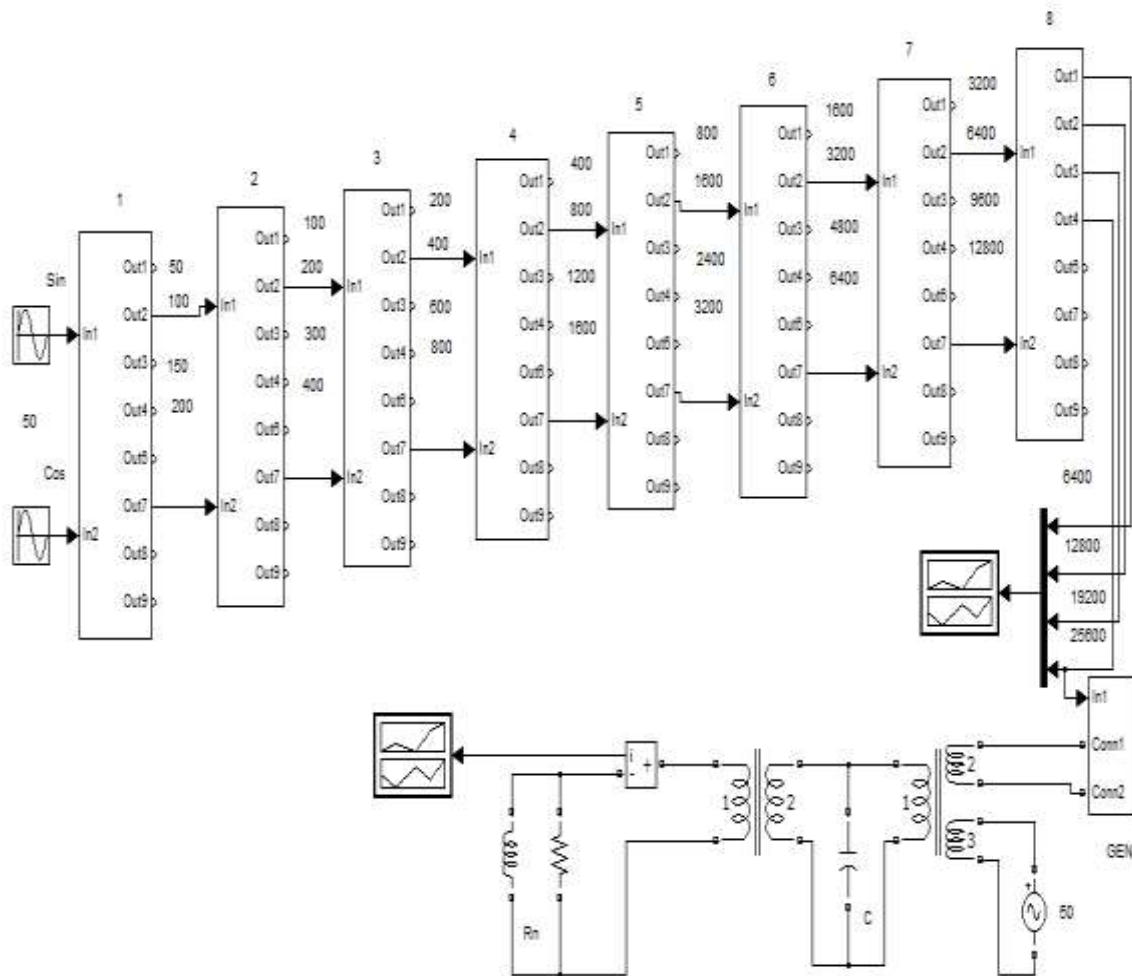


Рис. 1. Модель системы индукционного нагрева

Силовая часть системы включает генератор тока высокой частоты для питания индуктора. На модели генератор (GEN) выполнен на базе полумостовой схемы инвертора тока на транзисторах с питанием от нерегулируемого источника постоянного напряжения. Для формирования тока индуктора из двух составляющих используется трёхобмоточный

трансформатор, где в обмотку 2 подаётся ток высокой частоты, а в обмотку 3 – ток низкой промышленной частоты. В обмотке 1 формируется ток из двух составляющих. Как рекомендуется выше, система "индуктор – заготовка" в работе моделируется в виде двухобмоточного трансформатора, где обмоткой 2 является индуктор, а короткозамкнутой обмоткой 1 – заготовка. На модели это очень небольшая нагрузка R_n с активно-индуктивными параметрами.

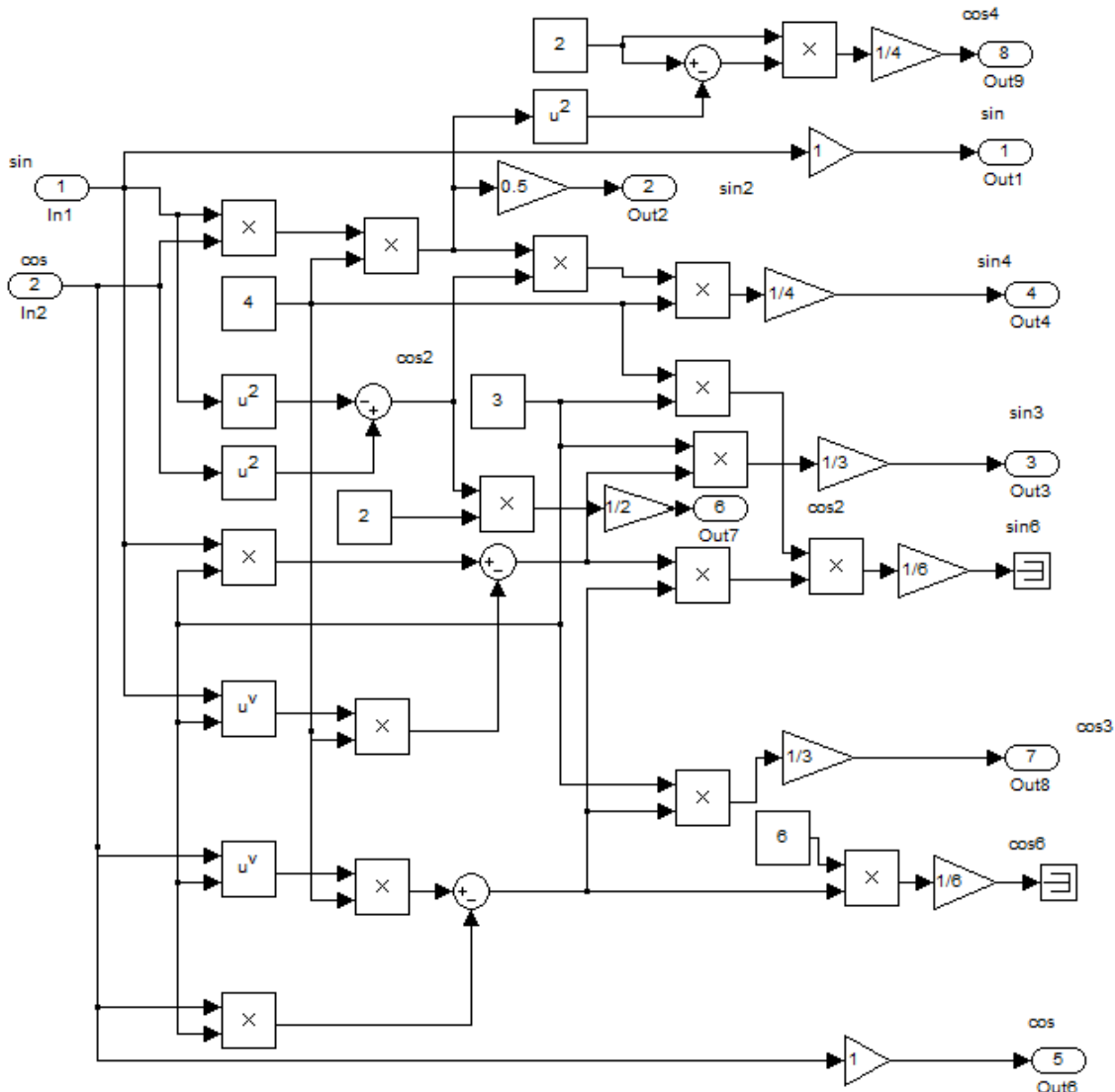


Рис. 2. Блок преобразования частоты

В рассматриваемой системе очень важными элементами являются блоки 1-8, которые предназначены для формирования сигналов требуемой частоты, определяющих алгоритм переключения транзисторов в автономном инверторе [3]. Все блоки имеют одинаковую структуру, которая представлена на рис. 2. Каждый блок имеет два входа (In1 и In2) для подачи гармонических сигналов со сдвигом фаз $\pi/2$ и восемь выходов.

Сигналы с выходов Out1, Out2, Out3, Out4 имеют сдвиг фаз $\pi/2$ по сравнению с сигналами на выходах Out6, Out7, Out8, Out9. Все блоки включены последовательно, т.е. два сигнала с предыдущих блоков с указанным сдвигом подаются на вход последующих. На выходах каждого блока мы имеем ступенчатое изменение частоты в четыре раза. После прохождения следующего блока частота выходных сигналов удваивается, а амплитуда остаётся неизменной. На рис. 1 около каждого блока указаны частоты на входах и выходах в Гц. В процессе ступенчатого увеличения частоты практически не появляется нелинейных искажений сигналов управления, о чём свидетельствуют осциллограммы на рис. 3 для частот 6400, 12800, 19200, 25600 Гц. При дальнейшем увеличении частоты появляются искажения.

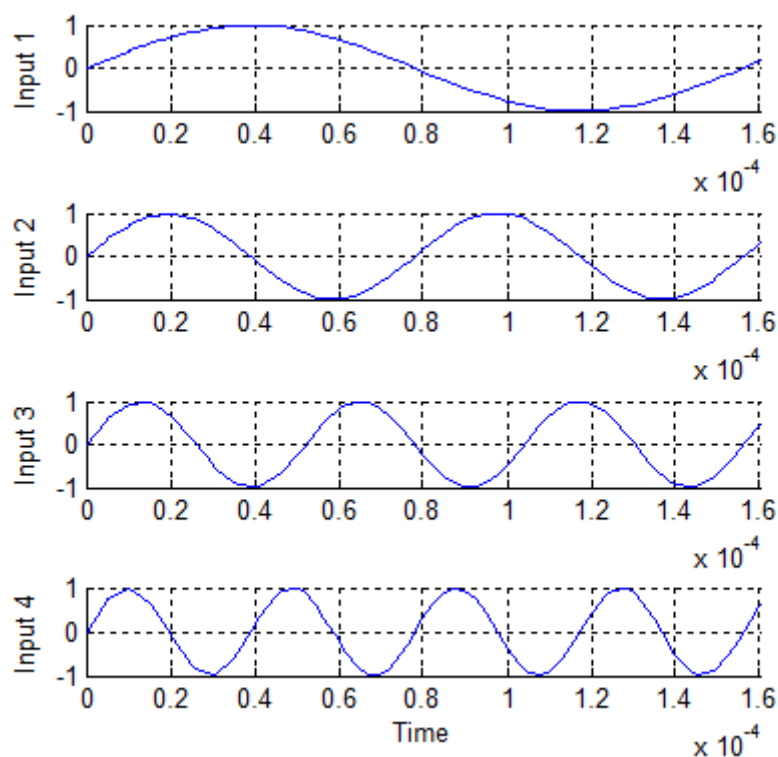


Рис. 3. Сигналы управления для высокочастотной составляющей

На рис. 4 показан вид индуцированного в заготовке тока. Величина указана в амперах и зависит от напряжения промышленной частоты в обмотке 3 трёхобмоточного трансформатора. Для изменения доли высокочастотной составляющей используется конденсатор С, составляющий с обмотками колебательный контур.

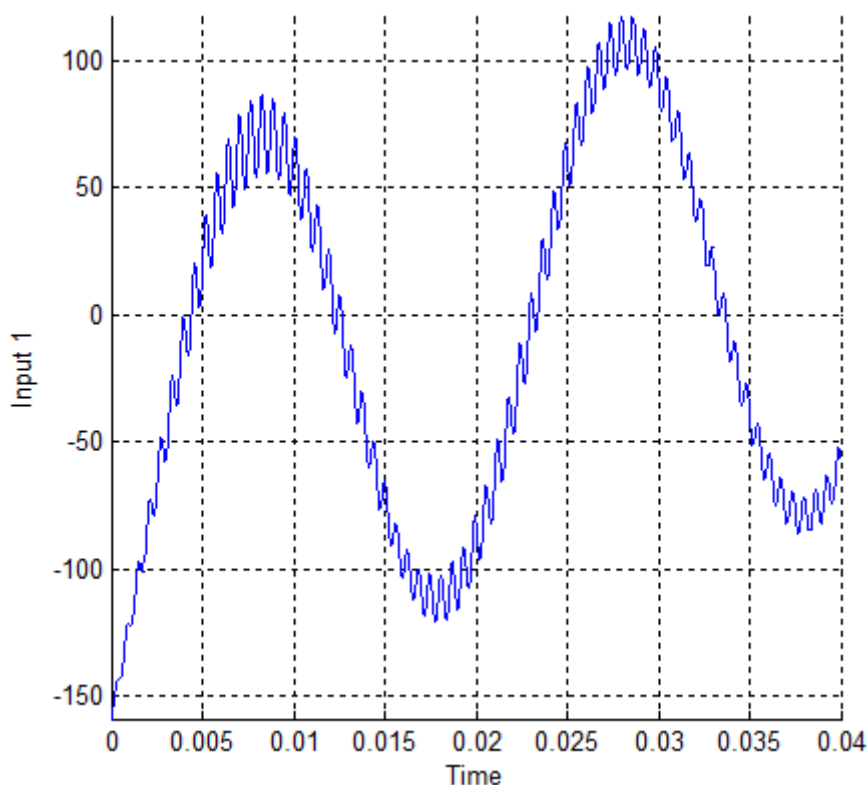


Рис. 4. Индукционный ток в заготовке

Библиографический список

1. Слухоцкий А.Е. Индукторы. - Л.: Машиностроение, 1989. - (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 12).
2. Булатов О.Г., Поляков В.Д. Высокочастотный преобразователь для индукционного нагрева // IV междунар. науч.-техн. конф. "РАДИОЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА". Тез. докл. М.: Издательство МЭИ, 1997.
- 3 Исаев И.Н., Лолаев С.Л. К вопросу о ступенчатом регулировании скорости // труды XV междунар. науч. - техн. конф. "Электроприводы переменного тока". Екатеринбург: ФГАОУ ВПО УрФУ, 2012.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Поздеев С.А., студент гр.580702-ЭиЭП НТИ (ф) УрФУ
Кожуев В.Н., к.т.н., доцент кафедры АТПС НТИ (ф) УрФУ

Широкое применение электронных схем в различных системах управления делает актуальной задачу проверки правильности их работы, своевременного обнаружения и устранения неисправностей. Одним из

распространенных методов контроля технического состояния логических схем является сигнатурный анализ [1]. Его применение для диагностирования логических схем эквивалентно поиску неисправностей аналоговых схем с помощью электронного осциллографа, при котором проверяется соответствие осциллограмм, снятых в контрольных точках схемы, их заранее заданному виду. В цифровых схемах такой осциллограмме соответствует значение сигнатуры – n -разрядного кода, формируемого из входной последовательности данных.

Дискретный характер входных и выходных сигналов цифровых и логических микросхем, а также возможность использования современных микроконтроллеров для их обработки, позволяют автоматизировать процесс формирования и сравнения сигнатур.

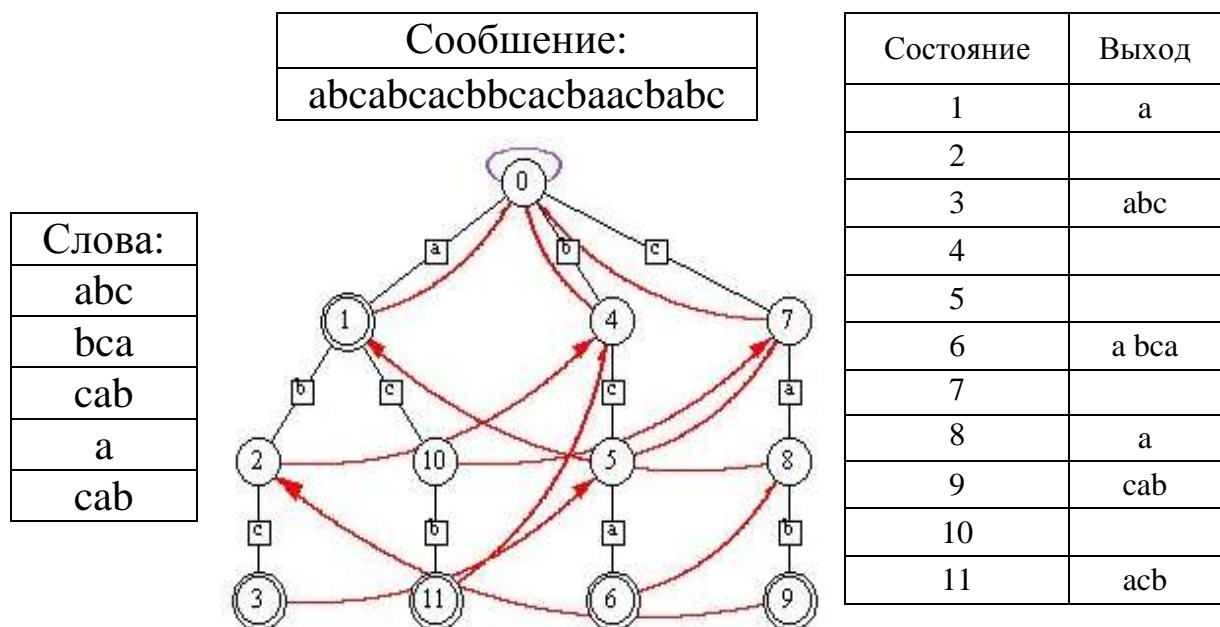


Рис. 1. Визуальное представление алгоритма Ахо-Карасик

Для решения поставленной задачи предлагается использовать алгоритм Ахо-Карасик, визуально представленный на рис. 1.

Алгоритм разработан для поиска определенного набора слов, входящих в передаваемое сообщение. Его суть заключается в построении конечного автомата, каждому выходному состоянию которого, соответствует тот или иной набор слов.

Для проверки работоспособности алгоритма было проведено его моделирование в программной среде Multisim 12.0 фирмы National Instruments.

В качестве объекта тестирования использовалась схема триггера, построенного на транзисторах разного типа проводимости (рис. 2).

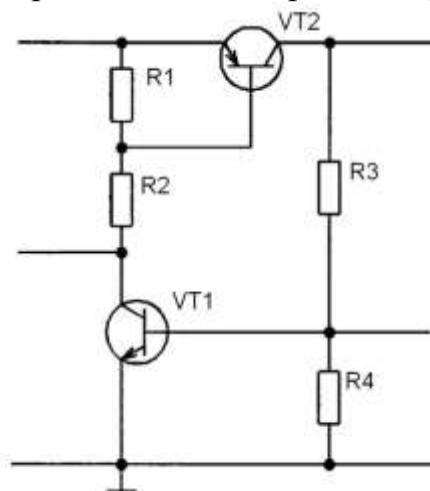


Рис. 2. Схема триггера

Поскольку в установившихся состояниях триггера оба транзистора либо закрыты, либо открыты, то появляется возможность экономии потребляемой электроэнергии в зависимости от требуемой длительности одного из состояний транзисторов. Кроме того, появляется возможность включения нагрузки в коллекторную цепь одного из транзисторов, что также способствует повышению энергетической эффективности [2].

Для имитации неисправностей в модель схемы (рис. 2) введены программно-управляемые ключи, реализуемые на практике с помощью релейного блока дистанционного управления. Это позволяет получить набор сигнатур, позволяющий судить не только о неисправности исследуемой схемы, но и о неисправности каждого элемента внутри нее.

Модель диагностического устройства, реализованная с использованием программной среды National Instruments Multisim 12.0, состоит из шины формирователя сигналов; микроконтроллера PIC 16F84A; LCD дисплея для вывода информации; соединителей, упрощающих структуру схемы в режиме тестирования. К преимуществам выбранного контроллера можно отнести его невысокую стоимость, относительно высокую надёжность, наличие встроенной самодиагностики и возможность перепрограммирования.

Время выполнения алгоритма линейно зависит от длины входной последовательности, суммарной длины используемых слов, формата ответа.

При тактовой частоте процессора 4МГц максимальное время поиска строки длиной восемь символов не превышает 0,6 мс.

На рис. 3 и 4 приведены результаты тестирования схемы (рис. 2), полученные с помощью модели тестирующего устройства для двух возможных неисправностей.

Результаты диагностики, выведенные на экран дисплея, позволяют обслуживающему персоналу в кратчайший срок осуществить замену неисправного элемента.

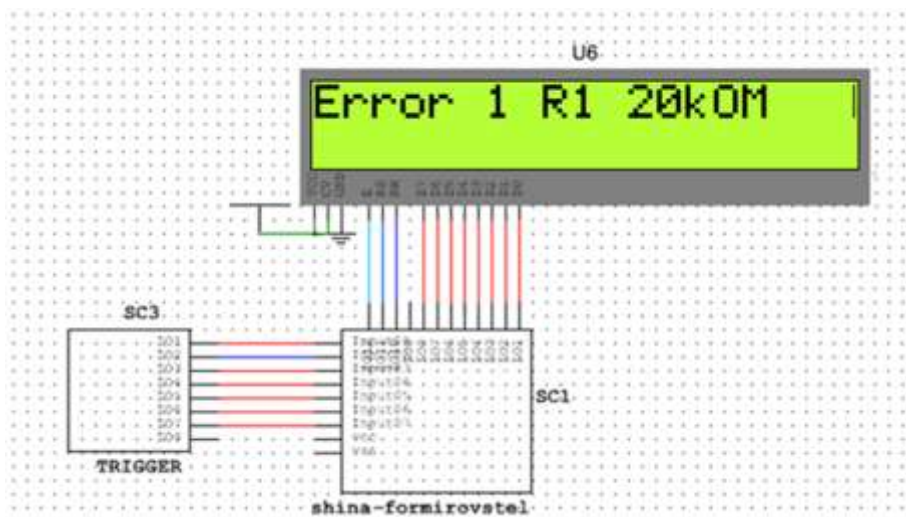


Рис. 3. Результат диагностики: отказ резистора R1

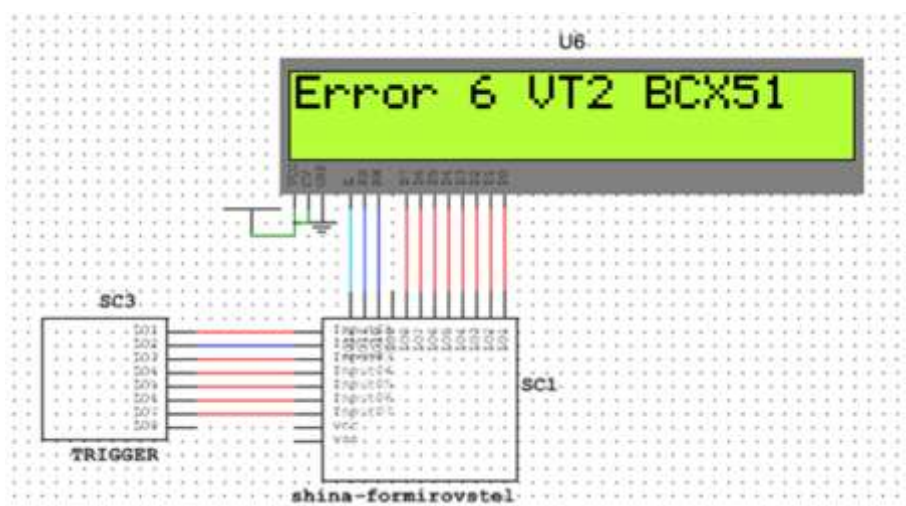


Рис. 4. Результат диагностики: отказ транзистора VT2

Использование предлагаемой системы диагностики позволяет сократить издержки из-за простоя оборудования и, как следствие, недовыпуска продукции или услуг.

Библиографический список

1. Фолкенберри Л.М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных схем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.: ил.
2. Патент № 2453987, РФ, МПК H03K3/00, ТРИГГЕР, Поздеев Андрей Сергеевич, патентообладатель ОАО "Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения".
3. Кирьянов К.Г. Сигнатурный анализ: Методическое пособие. – Нижний Новгород: изд-во НГУ им. Н.И. Лобачевского, 1999.-29с.:ил.
4. Чипулис В.П., Шаршунов С.Г. Анализ и построение программно-управляемых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1992. - 224с.: ил.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ГЕМОДИАЛИЗА

Козырев К.А., студент гр. 490704 - ЭиЭПОУ НТИ (ф) УрФУ
Кожеев В.Н., к.т.н., доцент кафедры АТПС НТИ (ф) УрФУ

Гемодиализ – метод коррекции водно-электролитного и кислотно-щелочного равновесия, а также выведения вредных веществ из организма, основанный на диализе и ультрафильтрации крови аппаратом «искусственная почка» (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид аппарата

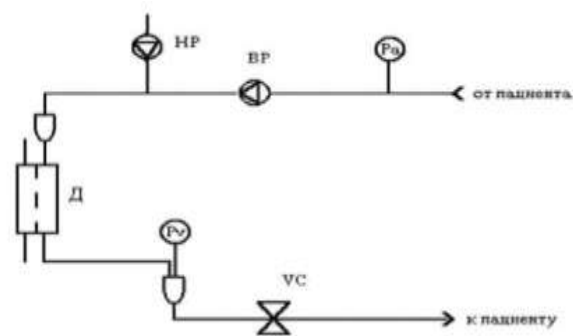


Рис. 2. Схема контура крови

При гемодиализе эффективность очистки крови во многом определяется скоростью потока крови, отбираемой из артерии, через диализатор. Чем выше скорость, тем эффективнее её очистка.

Обычно скорость потока крови составляет не более 250...300 мл/мин. Дальнейшее её увеличение затруднено двумя причинами:

1) если скорость потока крови превышает 450...500 мл/мин, элементы крови в значительной мере разрушаются ввиду соударения со стенками системы трубок;

2) увеличение отбора крови из артерии увеличивает отрицательное влияние на сердечно-сосудистую систему, повышает риск инсульта и инфаркта миокарда.

Однако и отбор крови со скоростью 250...350 мл/мин также существенно влияет на сердечно-сосудистую систему.

Гидравлическая схема аппарата содержит два контура, связанных через общий элемент – диализатор (Д). Экстракорпоральный контур обработки крови (рис. 2) состоит из следующих узлов:

- датчика артериального давления (Pa),

- насоса крови (BP),
- насоса гепарина (HP),
- датчика венозного давления (Pv),
- венозного зажима (VC).

Повышение эффективности гемодиализа может быть достигнуто следующим образом. Кровь, отбираемая из артерии роликовым насосом, проходит через диализатор. Некоторая часть прошедшей через диализатор крови, предположительно, от 20 до 90%, снова возвращается в диализатор, возможно, вторым роликовым насосом. Таким образом, происходит многократная рециркуляция крови через диализатор, и, соответственно, дополнительная её очистка. Рециркуляция может проходить со скоростью порядка 50...450 мл/мин. Благодаря этому из артерии кровь может отбираться с пониженной скоростью, порядка 50...250 мл/мин. В результате суммарный проток крови через диализатор может быть достаточно большим, порядка 250...500 мл/мин.

Не исключено, что предлагаемая схема гемодиализа обеспечит повышение эффективности удаления шлаков из крови при одновременном уменьшении нагрузки на сердце.

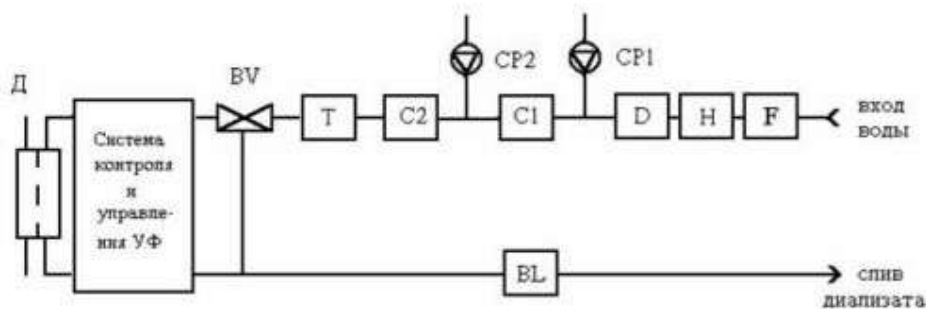


Рис. 3. Схема контура приготовления диализата

Основными элементами второго контура (рис. 3) являются: F – фильтр исходной воды; H – нагреватель; D – деаэратор; CP1 – насос концентрата "А"; CP2 – насос концентрата "В"; C1, C2 – датчики проводимости; T – датчик температуры; BV – клапан сброса; BL – детектор протечки крови.

Для приготовления диализной жидкости заданного состава необходимо диализный концентрат и очищенную воду смешать в заданной пропорции. Для этого концентрат подается в поток воды с помощью поршневых или перистальтических насосов

Задачу повышения эффективности гемодиализа и сбалансированности ультрафильтрации решает гемодиализный биомониторинг, основанный на использовании сенсоров. Дело в том, что изменение биохимического состава отработанного диализата, как в зеркале

отражает изменение биохимического состава крови. Поэтому по данным сенсора мочевины на сливе из аппарата «искусственная почка» возможно осуществлять мониторинг таких фундаментальных показателей гемодиализа, как диализная доза, степень катаболизма белка, степень снижения уровня мочевины.

Основным недостатком всех ранее существовавших способов профилирования ультрафильтрации было отсутствие данных о фактическом изменении объема водных пространств организма. Сегодня эту проблему решает сенсор изменения объема крови. Датчик устанавливается на входе крови в диализатор и по гемоконцентрации рассчитывает фактическое изменение объема крови в процентах от исходного значения и, равным образом, в динамике показывает темп восстановления объема крови после отключения ультрафильтрации.

Сенсор мочевины и сенсор объема крови выдают информацию в цифровом и графическом виде, что позволяет управлять работой аппарата искусственная почка по принципу обратной связи.

Дальнейшее совершенствование гемодиализа связано с увеличением числа контролируемых параметров. Вероятно, это будет глюкоза, калий, *pH* и т.п.

В последнее десятилетие возникли новые контакты между очень далекими, на первый взгляд, областями: электроникой и биохимией. Их взаимодействие создало новую сферу – биоэлектронику. Первым шагом в этой области было возникновение новых устройств для анализа и переработки, получивших название биосенсоров, которые рассматриваются как первое поколение биоэлектронных устройств.

Биосенсоры – это аналитические устройства, использующие биологические материалы для распознавания определенных молекул и выдающие информацию об их присутствии и количестве в виде электрического сигнала.

Важным направлением повышения эффективности процедуры гемодиализа является совершенствование математических моделей, используемых для оценки и оптимизации различных форм заместительной почечной терапии как для обычного клинического применения, так и для решения новых вопросов, которые появляются вместе с появлением передовых технологий.

Заместительная терапия вызывает иногда патологические изменения в организме, и это порождает интересные (и иногда трудные) вопросы о реакции организма на вмешательство, которое далеко от физиологических стандартов и не всегда поддается математическому описанию.

В докладе представлен краткий обзор самых популярных моделей, а также взаимосвязь между моделями с различными уровнями сложности. В целом, существует непрерывный поиск баланса между (1) простотой

модели с ограниченным числом доступных параметров и (2) физиологической точностью и потребностью в обеспечении более подробной информацией. Существующие технические средства, такие как микроконтроллеры и микроЭВМ, а также наличие большого числа программ для математического и имитационного моделирования могут сдвинуть этот баланс в сторону более сложных и реалистичных моделей.

ОДНА ИЗ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ

Кузьмина Н.А., НТИ (филиал) УрФУ, доцент

Обсуждаемая задача динамического восстановления неизвестных характеристик систем с последействием [1, 2]. Рассматривается система, описываемая нелинейным дифференциальным уравнением с запаздыванием

$$\dot{x}(t) = f(x(t), x(t - \nu)) + Bu(t), \quad t \in [0, T], \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

где $x \in R^N$, $B - N \times n$ -мерная матрица, $f - N \times N$ -мерная матричная функция, удовлетворяющая условию Липшица. Траектория системы $x(t)$ зависит от меняющегося во времени входного воздействия $u(t)$. Заранее как это воздействие, так и траектория не заданы. Известно лишь, что $u(t)$ есть функция, суммируемая с квадратом нормы, то есть

$$u(\cdot) \in L_2([0, T]; R^n).$$

В дискретные, достаточно частые моменты времени $\tau_i \in [0, T]$ наблюдаются вектора $x(\tau_i)$. Результаты измерений – вектора $\xi_i^h \in R^N$ – удовлетворяют неравенствам

$$\xi_i^h = x(\tau_i) + z_i, \quad |z_i| \leq h.$$

Здесь величина $h \in (0, 1)$ характеризует точность измерения. Требуется построить алгоритм приближенного восстановления входа, обладающий свойствами динамичности и устойчивости. Таким образом, необходимо создать алгоритм приближенного восстановления входа – вычисления некоторого управления $\mathcal{G}^h(\cdot)$ такого, что функция $\mathcal{G}^h(\cdot)$ играет роль своего рода «оценки» приближения $u(\cdot)$.

Перейдем к описанию алгоритма решения задачи. Возьмем некоторое семейство разбиений

$$\Delta h = \{\tau_{h,i}\}_{i=0}^{m_h}, \quad \tau_{h,0} = 0, \quad \tau_{h,m_h} = T, \quad \tau_{h,i+1} = \tau_{h,i} + \delta(h)$$

отрезка $[0, T]$ с шагом $\delta(h)$ и функцию $\alpha(h)$. Функции $\delta(h) \in (0, 1)$ и $\alpha(h) \in (0, 1)$ выберем таким образом, чтобы были выполнены следующие условия

$$\delta(h) \rightarrow 0, \alpha(h) \rightarrow 0, (h + \delta(h))\alpha(h) \rightarrow 0, \quad (2)$$

$$\delta(h)/\alpha^2(h) \leq 1, h/\delta(h) \leq 1 \text{ при } h \rightarrow 0.$$

Затем введем вспомогательную управляемую систему (модель)

$$\dot{w}(t) = f(\xi_i^h, \xi_{i-k_h}^h) + B\mathcal{G}^h(t) + v^h(t), \quad t \in [\tau_i, \tau_{i+1}) \quad (3)$$

с начальным условием $w(0) = \xi_0^h$. Для простоты ниже полагаем $k_h = \delta/m_h$.

До начала работы алгоритма фиксируем величину h и разбиение $\Delta h = \{\tau_{h,i}\}_{i=0}^{m_h}$, $m = m_h$. Работу алгоритма разобьем на $m-1$ однотипных шагов. В течение i -го шага, осуществляемого на промежутке времени $\delta_i = [\tau_i, \tau_{i+1})$, $\tau_i = \tau_{h,i}$, выполняются следующие операции. Сначала, в момент τ_i , вычисляются вектора \mathcal{G}_i^h и v_i^h и по формулам

$$\mathcal{G}_i^h = \frac{1}{\alpha} B'(\xi_i^h - w(\tau_i)),$$

$$v_i^h = \frac{c\delta}{\alpha^2}(\xi_i^h - w(\tau_i)).$$

Здесь и ниже $c = const > 0$, штрих означает транспонирование. Затем на вход модели подаются управления

$$\mathcal{G}^h(t) = \mathcal{G}_i^h \text{ и } v^h(t) = v_i^h, \quad t \in \delta_i.$$

Под действием этих двух управлений, модель (3) переводится из состояния $w(\tau_i)$ в состояние $w(\tau_{i+1})$. Работа алгоритма заканчивается в момент \mathcal{G} .

Теорема. Пусть выполнены условия согласования параметров алгоритма (2). Тогда имеет место сходимость

$$\mathcal{G}^h(\cdot) \rightarrow u_*(\cdot) \text{ в } L_2([0, T]; R^n) \text{ при } h \rightarrow 0.$$

Здесь $u_*(\cdot) = u_*(\cdot, x(\cdot))$ – элемент множества $U(x(\cdot))$ минимальной $L_2([0, T]; R^n)$ – нормы, $U(x(\cdot))$ – множество управлений $u(\cdot) \in L_2([0, T]; R^n)$, совместимых с выходом $x(\cdot)$.

Библиографический список

1. Осипов Ю.С., Кряжковский А.В., Максимов В.И. Обратные задачи динамики параболических систем// Дифференциальные уравнения. 2000. 36, №5. С. 579–597.
2. Osipov Yu.S., Kryazhimskii A.V. Inverse Problems for Ordinary Differential Equations: dynamical Solutions. London: Gordon and Breach, 1995.

О ДИНАМИЧЕСКОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВХОДОВ В СИСТЕМЕ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Кузьмина Н.А., НТИ (филиал) УрФУ, доцент

Рассмотрим задачу устойчивого восстановления управлений по результатам неточных измерений траектории динамической системы с запаздыванием.

Содержание задачи таково. Имеется система, описываемая векторным нелинейным дифференциальным уравнением. Траектория системы зависит от начального состояния и от изменяющегося во времени входного воздействия – управления. Заранее как управление, так и траектория не заданы, но, возможно, известно множество, ограничивающее допустимую реализацию входа. В процессе функционирования системы наблюдается часть фазовых состояний. Наблюдения, вообще говоря, неточны.

Требуется построить алгоритм приближенного восстановления ненаблюдаемой «части» координат, а также входа, обладающего свойствами динамичности и устойчивости. Свойство динамичности означает, что текущие значения приближения соответствующих координат и входа вырабатываются в реальном времени, свойство устойчивости – что приближения сколь угодно точны при достаточной точности наблюдения.

Задача относится к классу обратных задач динамики управляемых систем [2, 5].

Представляемый алгоритм опирается на конструкции теории устойчивого динамического обращения [2, 3, 4]. Последняя основана на сочетании методов теории некорректных задач и теории позиционного управления [1, 4].

Суть методики состоит в том, что алгоритм восстановления представляется в виде алгоритма управления по принципу обратной связи некоторой искусственной динамической системой, называемой моделью. Управление в модели адаптируется к результатам текущих наблюдений фазовых состояний таким образом, что его реализация во времени «аппроксимирует» как неизвестный вход в случае измерения всех координат, так и неизмеряемые координаты в случае измерения части координат.

Библиографический список

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1978.

2. Осипов Ю.С., Васильев Ф.П., Потапов М.М. Основы метода динамической регуляции. Изд-во МГУ, 1999.

3. Максимов В.И. Задачи динамического восстановления входов бесконечномерных систем. Екатеринбург: УрО РАН, 2000.

4. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. М.: Наука, 1984.

5. Кряжимский А.В., Осипов Ю.С. Об устойчивости позиционном восстановлении управления по измерениям части координат. – Сб. науч. Трудов. Свердловск: УрО АН СССР, 1989, 110 с.

ПРОБЛЕМАТИКА ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ЗАКАЗАМИ

*Латинская Е.И., магистрант, Подоляк О.О., к.э.н., ФГАОУ ВПО «УрФУ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»*

Тип производства оказывает важное влияние на особенности его управления и организации. Организационно-технические особенности типов производства влияют на экономические показатели предприятия, на эффективность его деятельности.

Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов для оперативно-календарного управления в единичном производстве становится на сегодня актуальной проблемой, и важно построить цепь взаимодействия от получения заказа до выпуска готовой продукции.

Основной особенностью индивидуального производства является то, что программа предприятия часто состоит из большого ассортимента изделий различного назначения, а выпуск каждого изделия запланирован в ограниченных количествах.

Номенклатура продукции в производственной программе неустойчива, велик удельный вес оригинальных и весьма маленький удельный вес унифицированных деталей.

Цель оперативно-календарного планирования – координация работ цехов, участков и отдельных рабочих мест по срокам выполнения плановых заданий для выпуска готового изделия.

Основными задачами оперативно-календарного планирования в единичном производстве становятся:

- обеспечение ритмичности работы;
- обеспечение непрерывности производственного процесса;
- равномерность загрузки оборудования;

– достижение минимальной деятельности производственного цикла и т.п.

И как результат, достигается повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции, повышение уровня использования основных и оборотных фондов и выпуск продукции «точно в срок».

С индивидуальным производством возникают следующие **проблемы**:

– Производственный процесс выпуска продукции – прерывный. Каждая единица продукции требует относительно продолжительного времени изготовления.

– Возникают сложности с автоматизацией всего производственного процесса.

– Значительная трудоемкость продукции и высокий удельный вес заработной платы в себестоимости продукции (нередко до 25% от полной себестоимости).

– Возможны большие расходы, связанные с финансированием индивидуального заказа, особенно в случае долгосрочного производства. Возрастает риск изменения обменного курса, и от предприятия нередко требуют дополнительных гарантий.

– Часто конкуренция на рынке требует определенных финансовых условий (оплата 30% на 70% для бюджетных организаций и муниципалитетов, отсрочка платежа для крупных игроков рынка, в том числе и нефтяного сектора).

– Возможны дополнительные затраты материалов, связанные с большими допусками, что повышает себестоимость выпускаемых изделий.

– При ценообразовании на продукцию используется чаще всего затратный метод, плохо коррелирующий с рыночной ситуацией.

– Ориентация на рыночный метод ценообразования иногда приводит к снижению прибыли от изготовления продукции или к ее отсутствию (вследствие недостижения точки безубыточности).

– Возникают организационные проблемы, связанные с планированием и построением четко функционирующего производственного процесса: качество, обслуживание оборудования, снижение издержек, вовлечение персонала, загрузка производства, и т.п.

– На этапе коммерческого предложения объем работ по заказу невозможно определить полностью. В итоге, невозможно точно спланировать потребность в материалах и требуемые производственные операции. Для коммерческого предложения целесообразней калькулировать примерную стоимость по аналогичным заказам. Точный предварительный расчет приводит к необоснованному увеличению трудозатрат и времени обработки заказов, а в сегодняшнем конкурентном

рынке важно быстро предоставлять необходимую информацию. По факту только 10% запросов обернутся для предприятия впоследствии заказами.

– Возникают проблемы со сроком исполнения заказов. Если на этапе коммерческого предложения завышенные сроки исполнения заказов могут привести к уходу заказчика к конкуренту, а заведомо короткие сроки могут дать дополнительные затраты при наличии в будущем штрафных санкций.

– После получения заказа возникают существенные расходы на проектное планирование и подготовительные работы, как временные, так и денежные.

– Повышенная себестоимость выпускаемой продукции выдвигает требование к оптимальному распределению накладных расходов.

Для достижения типизации индивидуальных заказов существует несколько основных методов:

- 1) Привести нестандартные узлы к стандартным.
- 2) Создать базу аналогов для определения договорной цены.
- 3) Разделить существующую индивидуальную продукцию на типовые узлы.
- 4) Определить условные узлы для договорной цены, с учетом инфляции.

Так как в позаказном производстве используется часто меняющаяся номенклатура продукции, в нем широко применяется универсальное оборудование, позволяющее обрабатывать широкий перечень деталей, а специальные станки используются весьма редко.

Разнообразная номенклатура продукции, а также уникальность заказов требуют применения труда высококвалифицированных рабочих, которые способны применять универсальное оборудование и оснастку. Удельный вес рабочих средней и низкой квалификации относительно меньше, чем в производствах других типов.

На основе унификации деталей и узлов, типизации технологических процессов в единичном производстве, могут быть выполнены некоторые элементы серийного производства. Так, всё чаще в условиях позаказного производства используется групповой метод обработки деталей с применением систем универсально-сборных и наладочных приспособлений. Внедрение группового метода обработки деталей дает возможность использовать высокопроизводительное специальное оборудование, уменьшая расходы на изготовление технологической оснастки, снижая затраты подготовительно-заключительного времени на установку и снятие деталей, уменьшая длительность производственного цикла и масштабы заделов незавершённого производства.

Таким образом, для стандартизации производства на предприятиях должно применяться универсальное оборудование, сборочные процессы

отличаться значительной долей ручных работ, а персонал должен обладать универсальными навыками и квалификацией. Если раньше были популярны многостаночники, то в настоящее время многооперационники.

Для эффективной работы производства доля стандартных заказов должна доставлять 80%, а производственный процесс должен учитывать, в том числе, рыночную конъюнктуру, срок изготовления и качественную репутацию.

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ ПРОПАНА КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ФРАКЦИИ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ

*Маркова Е.Б.^{а,б} аспирант, младший научный сотрудник;
Красильникова О.К.^а к.х.н., ведущий научный сотрудник;
Серов Ю.М.^б д.х.н., профессор*

^а Федеральное бюджетное учреждение Академии наук Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), 119071, Москва, Ленинский пр., д. 31, к.4. E-mail: krasilnikovaok@inbox.ru

^б Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов», 117198, Москва, Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: ebmarkova@gmail.com

В современном мире резко встал вопрос о ресурсосбережении. Разработка и ввод в эксплуатацию газовых и газоконденсатных месторождений сопровождаются очень острой проблемой утилизации сопутствующей основному добываемому сырью нестабильной ее составляющей – фракции C₃-C₄ (liquid petroleum gases – LPG). В настоящее время на большинстве месторождений эта фракция либо сжигается на факелах, либо закачивается обратно в пласт. В результате не только теряется безвозвратно ценное сырье, но и постоянно ухудшается экологическая обстановка в местах добычи природного газа и газоконденсата. В России ежегодно добывается до 15 млрд. м³ нефти, которая содержит C₃-C₄ (сжиженного нефтяного газа LPG): пропан и бутан при этом сжигается. На одну тонну нефти приходится 30-300 м³ попутных газов. Поэтому рациональным и экономически оправданным вариантом использования пропан-бутановой фракции (ПБФ) является химическое превращение C₃-C₄ углеводородов либо в более стабильную фазу (жидкость или сухой газ), либо в практически используемое химическое сырье для различных процессов [1-2].

Одной из наиболее простых и эффективных реакций для этого может быть каталитический крекинг, при котором из C₃-C₄ углеводов получают

такие широко используемые мономеры как этилен и пропилен, а также метан и ряд других углеводородов.

Представляется перспективным исследование каталитической активности в реакции крекинга аэрогель из нановолокнистого оксида алюминия. Поэтому каталитическая конверсия пропана в этилен и пропилен была исследована на катализаторах на основе нановолокнистого оксида алюминия в сравнении с промышленным катализатором Pt-Al₂O₃. Ввиду того, что непористый оксид алюминия не активен, для сравнения был взят промышленный катализатор платина-оксид алюминия.

В последнее время [3] окислением чистого алюминия были получены монолитные аэрогели ПМОА из нановолокнистого оксигидроксида алюминия, имеющие высокую удельную поверхность до 300 м²/г и низкую плотность – 0,004 г/см³, что в значительной мере меньше величин (0,01 – 0,05 г/см³). ПМОА были использованы в данной работе в качестве катализатора в реакции каталитической конверсии пропана. Исходя из свойств ажурной структуры этого катализатора, можно ожидать, что данный катализатор увеличит выход и повлияет на селективность одного из продуктов, так как для термического разложения пропана характерно образование тяжелых углеводородов при высоких температурах с последующим осмолением.

Исследования каталитической активности проводили при атмосферном давлении в проточной каталитической установке с кварцевым реактором, загрузка катализатора составляла 0,05 г. В качестве исходного сырья использовали пропан высокой чистоты (99,98% масс.). Скорость потока 1,25 мл/с.

Анализ продуктов реакции проводили хроматографически на хроматографе Кристалл 2000М.

Полученные при каталитической конверсии результаты сравнивали с данными термического крекинга.

Образец ПМОА был получен окислением влажным воздухом через слой ртутной амальгамы на поверхности алюминиевой пластины в специально изготовленной климатической камере-реакторе [4].

Электронно-микроскопические исследования показали, что микроструктура ПМОА состоит из переплетенных волокон оксида алюминия с диаметром приблизительно 5-6 нм (рис.1). Исследования проводили на электронно-просвечивающем микроскопе JEM 2120, образец помещали на подложку, смоченную спиртом без предварительной обработки.

Параметры пористой структуры образцов были определены из изотермы адсорбции паров азота при температуре 77 К, измеренной на объемной высоковакуумной установке ASAP-2020 MP Micromeritics USA в интервале относительных давлений от 10⁻⁶ до 0.99. Удельную поверхность

определяли методом БЭТ [5]. Поверхность мезопор определяли с применением сравнительного МР метода [5-6]. Для построения сравнительного графика для адсорбции паров азота в качестве стандартной изотермы адсорбции использовали усредненную изотерму адсорбции паров азота непористыми углеродными адсорбентами (сажами), таблица 1. Сравнительные графики показали, что образцы ПМОА непористые, что совпадает с данными электронной микроскопии ПЕМ.

Свежеприготовленный ПМОА был использован как катализатор в крекинге чистого пропана, но никакой каталитической активности он не проявил. Поэтому свежеприготовленный образец ПМОА был подвергнут активации в токе водорода при 1123 К в течение 1 часа, и каталитическую активность активированного катализатора исследовали в этой же модельной реакции.

Как видно из приведенной на рисунке 2 зависимости селективности реакции по этилену, аэрогель ПМОА_{акт} в каталитической области температур 773 – 1123 К при высоком выходе по этилену около 50% (рис. 4) имеет высокую селективность в отношении образования этилена (рис. 3), которая достигает своего максимума 63% при температуре 730 К (до начала осмоления).

Зависимость выхода этилена от температуры для катализатора ПМОА_{акт} более круто возрастает (рис. 3), чем для промышленного катализатора Pt/Al₂O₃ [7], имеющего почти линейный рост выхода в зависимости от температуры. При этом начиная от 923 К выход этилена на катализаторе ПМОА_{акт} превышает выход этилена на промышленном катализаторе. Следует отметить, что промышленный катализатор содержит активный металл – платину, и активность его определяется именно этим.

Для определения энергии активации были построены зависимости логарифма скорости реакции от обратной температуры (рис. 4). Рассчитанная по этим данным энергия активации оказалась равной 143 кДж/моль для термического разложения и 74 кДж/моль для реакции с использованием катализатора в интервале 623 К – 823 К. Для термических зависимостей, построенных в координатах уравнения Аррениуса, было установлено наличие излома при 823 К для каталитического крекинга. Это означает, что в области высоких температур возрастает термическая составляющая, т.е. увеличивается вклад в конверсию пропана цепного механизма реакции.

Таким образом, смещение максимума степени превращения в этилен в область более низких температур почти на 200 К по сравнению с промышленным катализатором Pt/Al₂O₃, позволяет значительно уменьшить энергоемкость процесса.

Библиографический список

1. Нефедов Б.К. Перспективы развития процессов нефтепереработки в России на пороге XXI века. Нефтехимия. 1999, т. 39, № 5, с. 343-353.
2. Пармон В.Н., Дуплякин В.К. Отечественная нефтеперерабатывающая промышленность сквозь призму катализа. Состояние и проблемы. Катализ в промышленности. 2003, № 2, с.3-10.
3. Погосян А.С., Красильникова О.К., Гранкина Т.Ю., Серебрякова Н.В. Влияние дегидратации на пористую структуру монокристаллических аэрогелей на основе волокнистого оксигидроксида алюминия. Физикохимия поверхности и защита материалов, 2011, т 47, № 5, с. 1–7.
4. Krasilnikova O.K., Pogosian A.S., Serebryakova N.V., Grankina T.Y. Synthesis of Carbon Materials with High Porous Alumina as Template. Advances in Chemistry Research, Vol. 12. Nova Science Publishers. 2011;
5. Грегг С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность пористость. М.:Мир, 1984, с. 306.
6. Волощук А.М., Дубинин М.М. и др. Изв. АН СССР, Б, Сер. Хим.1988. №2.с. 277.
7. Шаркова А.А., Серов Ю.М. Бутлеровские сообщения. Получение этилена каталитическим крекингом пропана, 2007, т 11, № 3, с 44-49.

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

*Раскатова Е.А., Назмиев Т.В., Дьяков В.А., Нижнетагильская
государственная социально-педагогическая академия, г. Нижний Тагил*

Для студентов, обучающихся на кафедре естественных наук института естествознания, математики и информатики Нижнетагильской государственной социально-педагогической академии, важную роль играет умение проводить качественный и количественный анализ различных объектов. Успешное овладение данными навыками возможно при использовании современного оборудования и передовых методов обучения. В связи с этим на кафедре разработан и внедрен в учебный процесс лабораторный практикум с применением компьютеризированного вольтамперометрического комплекса ИВА-5. Основное направление студенческих исследований связано с мониторингом воды, т.к. качество воды является своеобразным индикатором состояния окружающей среды в целом.

Питьевое водоснабжение населения Свердловской области крайне неудовлетворительно по качеству потребляемой воды. В настоящее время 60% населения области потребляет питьевую воду, не соответствующую

гигиеническим нормативам. Неудовлетворительное качество питьевой воды обусловлено как техногенными, так и природными факторами. По данным Всемирной Организации Здравоохранения, вода может содержать до 13 тысяч потенциально токсичных веществ. Самые опасные из них соли тяжелых металлов, содержание которых даже в малой дозе способно вызвать заболевание почек, печени, онкологические заболевания и врожденные аномалии. Термин тяжелые металлы характеризует широкую группу загрязняющих веществ. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе тяжелых металлов, применяется в широких пределах. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоиды (например, мышьяк). В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. По классификации Н. Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см. Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В последнее время повышенное внимание было привлечено к опасности загрязнения воды соединениями свинца. Нормативы содержания свинца в питьевой воде согласно СанПин 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения» установлены не более 0,03 мг/л.

Для решения задач мониторинга водных объектов на содержание тяжелых металлов привлекаются современные методы электрохимического анализа, например, инверсионная вольтамперометрия. Преимуществами инверсионной вольтамперометрии перед другими методами определения следовых содержаний веществ в растворе являются низкие пределы обнаружения, высокая чувствительность, избирательность, экологическая безопасность, легкость компьютеризации и автоматизации аналитических определений, сравнительно невысокая стоимость приборов для проведения измерений и относительная простота работы на них.

Анализ питьевой и природной воды Нижнего Тагила на содержание свинца методом инверсионной вольтамперометрии показал его присутствие в количестве, не превышающем нормы предельно допустимых концентраций. Однако наблюдается сезонная тенденция роста содержания свинца в воде в летний период.

В дальнейшем аппаратно-программные вольтамперометрические комплексы могут быть использованы в рамках учебного процесса для решения таких аналитических задач как определения содержания практически всего ряда тяжелых металлов в воде, почве, пищевых продуктах, косметических и фармацевтических препаратах.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ КФК-85

Раскатов Т.Г., Федосеева Н.В., Исаев А. И., ОАО Уралхимпласт, Нижнетагильская социально-педагогическая академия, г. Н. Тагил

В настоящее время при производстве карбамидноформальдегидового концентрата на установке КФК-85 производства синтетических смол Уралхимпласта используется следующая технологическая схема. Пары метанола, прошедшие через испаритель, попадают в рекуператор, где смешиваются с абгазовоздушной смесью, после чего попадают в реактор. В реакторе происходит реакция окисления метанола и превращение его в формальдегид. Далее абгазы, снова проходя через рекуператор, подаются в колонны. В колоннах газовый поток движется снизу вверх, и, проходя через абсорберы, обедненная газовая смесь снова попадает в газодувку. Содержание формальдегида и карбамида в готовом продукте составляет 60% и 25% соответственно. В реакции окисления метанола до формальдегида используется железо-молибденовый катализатор.

В настоящее время нагрузка установки КФК-85 по метанолу составляет 42кг/мин, при условии новизны катализатора. При данной нагрузке соотношение метанола и кислорода близко к взрывоопасной концентрации. По мере старения катализатора (спекания) нагрузка снижается, т.к. уменьшается пропускная способность катализаторной решетки, что видно из таблицы №1.

Таблица 1

Изменение производительности КФК-85 в зависимости от срока работы катализатора

Период работы катализатора, мес	Нагрузка, кг/мин	Произведено КФК за год, тн	Недовыпуск КФК, тн
12	42	30660	0
24	34	24820	5840
36	23	16790	13870
Итого		72270	19710

Увеличение мощности газодувки позволит увеличить объем проходящих реагентов через катализаторную решетку и, как результат, увеличить производительность установки до 46 кг/мин (табл.2) и, что также не маловажно, уйти от опасной концентрации метанол-кислород.

Таблица 2

Изменение производительности установки при увеличении мощности газодувки

Период работы катализатора, мес	Нагрузка, кг/мин		Выпуск КФК-85 за год, тн		Δ
	До увеличения мощности газодувки	После увеличения мощности газодувки	До увеличения мощности газодувки	После увеличения мощности газодувки	
12	42	46	30660	33580	2920
24	34	38	24820	27740	2920
36	23	27	16790	19710	2920
Итого			72270	83220	8760

Таким образом, при увеличении мощности газодувки возможно увеличить выпуск готового продукта в среднем на 3000 т/год, что при средней стоимости КФК-85 в 14 т.р. составит 42 млн. руб.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАЖИМНОГО МЕХАНИЗМА ПРОКАТНОЙ КЛЕТКИ 1300 ЦЕХА ПРОКАТКИ ШИРОКОПОЛОЧНЫХ БАЛОК НТМК

*Тимофеев В.Л., к.т.н. доц. каф. АТПС
Торова О.Л., студентка НТИ (ф) УрФУ*

Электроприводы механизмов перемещения валков станов (нажимных механизмов) влияют на производительность станов, должны обладать хорошей управляемостью, надежностью, точностью отработок перемещений и не должны быть «узким местом» в технологическом цикле.

В последние годы стали предъявлять также повышенные требования к эффективности преобразования потребляемой электрической энергии электроприводами.

В настоящее время в качестве электроприводов рассматриваемых механизмов применяются регулируемые приводы постоянного тока, для которых характерны существенные недостатки:

– Двигатели постоянного тока дороже асинхронных двигателей, а также нуждаются в более дорогом обслуживании.

– При работе на низких скоростях (ниже номинальных) они потребляют значительное количество реактивной энергии.

Исходя из этого, сложилась тенденция замены существующих электроприводов постоянного тока на приводы переменного тока, основу которых составляют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором.

Для регулирования скорости двигателей в этом случае применяют преобразователи энергии промышленной частоты в энергию регулируемой частоты. Для прокатки профиля 25Б графики изменения момента двигателя и его скорости приведены на рисунках 1, 2:

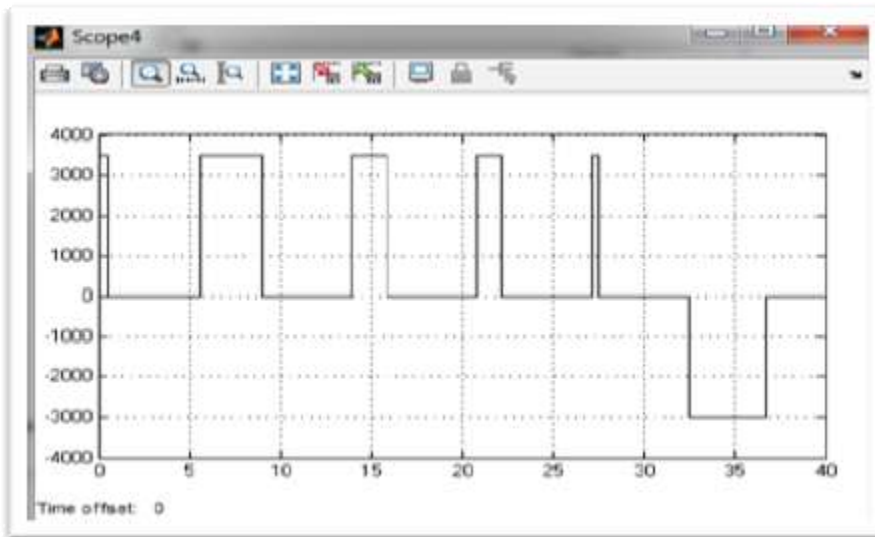


Рис. 1. График изменения момента двигателя

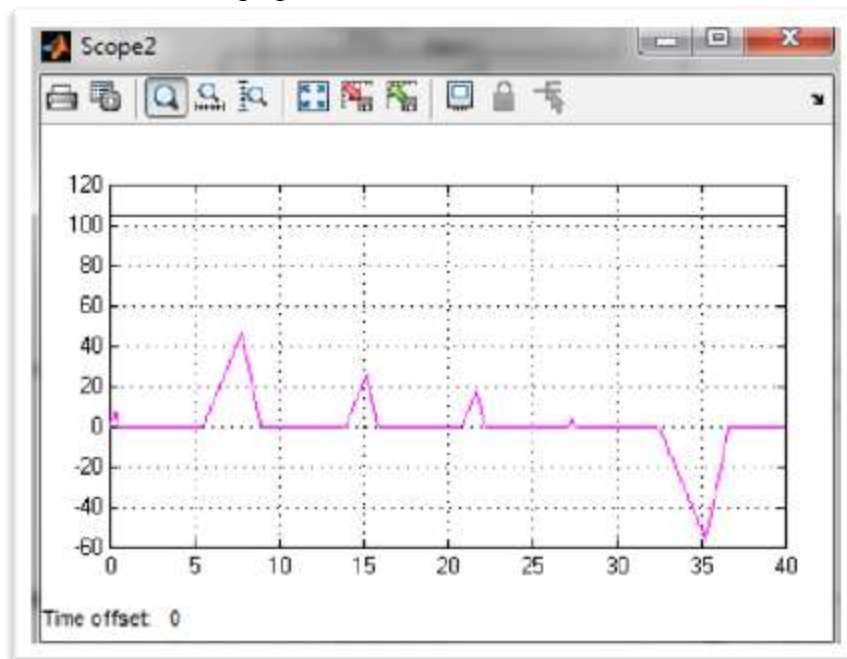


Рис. 2. График изменения скорости двигателя

ω_n – номинальная скорость вращения двигателя

Механическая энергия, затрачиваемая на перемещение вала, определяется, как

$$W_{\text{мех}} = \int M(t)\omega(t)dt$$

Среднее за цикл значение механической энергии, вырабатываемой электроприводом, равно $P_{\text{мех}} = \frac{W_{\text{мех}}}{t_p}$,

где $W_{\text{мех}}$ – определяется для всего цикла работы механизма;
 t_p – время работы привода в течение цикла, равного $T_{\text{ц}} = 11.7\text{с}$

В рассматриваемом случае:

$$P_{\text{мех.ср.}} = \text{кВт}$$

Среднее значение активной мощности, потребляемой из сети, равно

$$P_{\text{ср.}} = \frac{P_{\text{мех.ср.}}}{\eta_{\text{ЭД}} * \eta_{\text{ТП}} * \eta_{\text{ТР}}},$$

где

$\eta_{\text{ЭД}}$ – коэффициент полезного действия электрического двигателя;

$\eta_{\text{ТП}}$ – коэффициент полезного действия тиристорного преобразователя;

$\eta_{\text{ТР}}$

– коэффициент полезного действия трансформатора, необходимого для подключения преобразователя к сети;

При $\eta_{\text{ЭД}} = 0,85$; $\eta_{\text{ТП}} = 0,8$; $\eta_{\text{ТР}} = 0,82$ получим

$$P_{\text{ср.}} = 1360\text{кВт}$$

В случае применения электропривода постоянного тока коэффициент мощности в точке подсоединения привода к сети зависит от напряжения тиристорного выпрямителя, за счет изменения которого регулируется скорость электропривода, определяемая: $\cos \varphi = |\omega| * \frac{\cos \varphi_{\text{ТП,н}}}{\omega_{\text{н}}}$

Здесь $\cos \varphi_{\text{ТП,н}}$ – коэффициент мощности тиристорного преобразователя при пониженном напряжении на его выходе.

Для приведенного на рис. 1, а графика изменения скорости, среднее за цикл работы значение коэффициента мощности равно: $\cos \varphi_{\text{ср.}} = 0,21$

Среднее значение реактивной мощности, потребляемой электроприводом в течение цикла работы механизма, равно

$$Q_{\text{ср.}} = P_{\text{ср.}} * \tan \varphi_{\text{ср.}} = 6331\text{кВАр}$$

При использовании частотно-регулируемого асинхронного электропривода коэффициент мощности не изменяется как в переходных режимах разгона и торможения, так и в установившихся режимах работы и равно постоянному (каталожному) значению коэффициента мощности преобразователя частоты $\cos \varphi_{\text{ПЧ.н.}}$ как в варианте электропривода с рекуперацией энергии, так и в случае отсутствия режима рекуперации.

Значение $\cos \varphi_{\text{ПЧ.н.}} = 0,95 \dots 0,98$, следовательно, среднее значение мощности потребляемой электрической энергии равно;

$$Q_{\text{ср.}} = P_{\text{ср.}} * \tan \varphi_{\text{ПЧ.н.}} = 447\text{кВАр}$$

Таким образом, за цикл длительностью $T_{\text{ц}} = 10\text{с}$ регулируемый электропривод постоянного тока потребляет реактивную энергию в количестве:

$$\Delta W_{\text{э}} = \Delta Q * T_{\text{ц}} = (Q_1 - Q_2)T_{\text{ц}} = (6331 - 447) * 10 = 58840\text{к Дж}$$

больше по сравнению с асинхронным частотно-регулируемым

электроприводом. В течение года дополнительный расход реактивной энергии равен;

$$\Delta W_3 = \Delta Q * T_r = (6331 - 447) * 1600 = 9.4 \text{ М Дж}$$

где T_r – среднее значение времени работы электропривода.

Дополнительная энергия может быть выработана различными способами.

При отсутствии устройств, вырабатываемых реактивную энергию по месту ее потребления, эта энергия должна быть выработана генерируемыми устройствами (электрическая станция). Для этого должно быть израсходовано дополнительное количество первичной энергии (органического топлива, атомной энергии или гидроресурсов). При этом передаваемой по линиям электропередач электрической энергии возрастает, что в свою очередь требует увеличение мощности и стоимости элементов линии передач. Таким образом, имеем как неоправданный расход энергии, так и дополнительные капитальные затраты.

С целью снижения расхода первичной энергии применяются различные технические средства, позволяющие вырабатывать реактивную энергию. В качестве таких средств обычно используются синхронные машины, работающие с перевозбуждением, регулируемые или нерегулируемые конденсаторные батареи. Такое решение увеличивает лишь капитальные затраты, причем эти затраты могут быть ниже по сравнению с первым способом.

При использовании частотно-управляемых электроприводов переменного тока необходимость в выработке реактивной энергии, вносимой источниками, исключается. Это позволяет обеспечить энергосберегающие и экономит финансовые ресурсы.

К ЗАДАЧЕ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ ГИРОСТАТА ПРИ ИГРОВОЙ МОДЕЛИ ПОМЕХ

В.И. Воротников, Ю.Г. Мартышенко, НТИ (филиал) УрФУ

Решается нелинейная игровая задача трехосной переориентации асимметричного твердого тела посредством трех маховиков (роторов). Указана оценка допустимых уровней неконтролируемых помех в зависимости от заданных ограничений на управляющие моменты.

Введение. Исследования динамики космических аппаратов, несущих вращающиеся массы (маховики, гиродины), показали, что применение роторов существенно расширяет семейство возможных стационарных движений системы и область их устойчивости, а также позволяет в некоторой степени скомпенсировать дестабилизирующее влияние упругих

элементов. Использование роторов также имеет ряд преимуществ при управлении вращательным движением космических аппаратов.

В данной статье рассматривается задача переориентации космического аппарата посредством трех двигателей-маховиков. В процессе переориентации учитываются внешние неконтролируемые помехи, статистическое описание которых отсутствует.

Приложенные к маховикам управляющие моменты предлагается формировать по обратной связи как нелинейные функции фазовых переменных рассматриваемой конфликтно-управляемой системы, включающей динамические уравнения Эйлера и кинематические уравнения в переменных Родрига-Гамильтона. В результате решение исходной нелинейной игровой задачи управления удается свести к решению простейших линейных игровых задач, а переориентация достигается одним пространственным разворотом без дополнительных ограничений на характер результирующего движения. Найдена оценка допустимых уровней помех в зависимости от ограничений на управляющие моменты.

Полученные результаты являются развитием результатов работ [1, 2], где управление осуществляется посредством моментов внешних сил, а также результатов работы [3], где рассмотрена задача одноосной переориентации. Отметим, что при отсутствии помех в данном случае предложенный подход позволяет получить субоптимальные по быстродействию законы управления переориентацией.

1. Постановка задачи. Пусть имеем асимметричное твердое тело, вдоль главных центральных осей инерции которого закреплены оси вращения однородных симметричных маховиков. Вращательное движение этой системы (гиростата) вокруг центра масс описывается дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} (A_1 - J_1)x_1' &= (A_2 - A_3)x_2x_3 + J_2x_3\varphi_2' - J_3x_2\varphi_3' - u_1 + v_1, \\ (A_2 - J_2)x_2' &= (A_3 - A_1)x_1x_3 + J_3x_1\varphi_3' - J_1x_3\varphi_1' - u_2 + v_2, \\ (A_3 - J_2)x_3' &= (A_1 - A_2)x_1x_2 + J_1x_2\varphi_1' - J_2x_1\varphi_2' - u_3 + v_3, \\ J_i(\varphi_i'' + x_i') &= u_i, \end{aligned} \tag{1.1}$$

в которых A_i – главные центральные моменты инерции гиростата; x_i – проекции вектора угловой скорости основного тела на главные центральные оси \mathbf{k}_i эллипсоида инерции гиростата; J_i, φ_i – осевые моменты инерции и углы поворота маховиков (роторов), оси вращения которых неподвижно закреплены вдоль осей \mathbf{k}_i . Управляющие моменты u_i (моменты внутренних сил) приложены к маховикам и создаются специальными двигателями. Моменты v_i характеризуют внешние силы и внешние неконтролируемые возмущения, действующие на основное тело.

Обозначим \mathbf{x} , \mathbf{u} , \mathbf{v} , $\boldsymbol{\varphi}'$ – векторы, состоящие соответственно из x_i , u_i , v_i , φ_i' (i меняется от 1 до 3).

Рассмотрим также определяющие ориентацию твердого тела кинематические уравнения в переменных Родрига-Гамильтона

$$\begin{aligned} 2\eta_1' &= \eta_4 x_1 + \eta_2 x_3 - \eta_3 x_2, 2\eta_2' = \eta_4 x_2 + \eta_3 x_1 - \eta_1 x_3, \\ 2\eta_3' &= \eta_4 x_3 + \eta_1 x_2 - \eta_2 x_1, \eta_1^2 + \eta_2^2 + \eta_3^2 + \eta_4^2 = 1. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Обозначим $\boldsymbol{\eta}$ вектор, состоящий из η_i и η_4 (в указанном порядке).

Управляющие моменты $u_i = u_i(\mathbf{x}, \boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{\varphi}')$ ищутся по принципу обратной связи в классе K разрывных по \mathbf{x} , $\boldsymbol{\eta}$ функций. Реализации $u_i[t]$ являются измеримыми функциями, удовлетворяющими заданным ограничениям

$$|u_i| \leq \alpha_i = \text{const} > 0. \quad (1.3)$$

Помехи $v_i \in K_1$ могут реализовываться в виде любых измеримых функций $v_i = v_i[t]$ в рамках ограничений

$$|v_i| \leq \beta_i = \text{const} > 0. \quad (1.4)$$

Задача (трехосной переориентации). Требуется найти приложенные к маховикам управляющие моменты $u_i \in K$, при любых допустимых $v_i \in K_1$ переводящие твердое тело за конечное время из произвольного начального положения $\boldsymbol{\eta}(t_0) = \boldsymbol{\eta}_0$ в заданное $\boldsymbol{\eta}(t_1) = \boldsymbol{\eta}_1$. Оба состояния являются состояниями покоя $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}(t_1) = \mathbf{0}$. Кроме того, $\boldsymbol{\varphi}'(t_0) = \mathbf{0}$. Момент времени $t_1 > t_0$ не фиксируется.

Не нарушая общности, считаем $\boldsymbol{\eta}(t_1) = (0, 0, 0, 1)$.

2. Вспомогательная линейная конфликтно-управляемая система.

Рассмотрим нелинейные управляющие моменты вида (выписано только выражение для u_1 ; выражения для u_2 и u_3 получаются из u_1 циклической перестановкой индексов $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$)

$$\begin{aligned} u_1 &= -\frac{2(A_1 - J_1)}{\eta_4} [u_1^* (\eta_1^2 + \eta_4^2) + u_2^* (\eta_1 \eta_2 + \eta_3 \eta_4) + u_3^* (\eta_1 \eta_3 - \eta_2 \eta_4) + \\ &+ 1/4 \eta_1 (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)] + (A_2 x_2 + J_2 \varphi_2') x_3 - (A_3 x_3 + J_3 \varphi_3') x_2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$),

в которых u_i^* – некоторые вспомогательные управления, которыми распорядимся позже.

Управляющие моменты (2.1) позволяют выделить из замкнутой нелинейной конфликтно-управляемой системы (1.1), (1.2), (2.1) линейную конфликтно-управляемую систему дифференциальных уравнений

$$\eta_i'' = u_i^* + v_i^* . \quad (2.2)$$

«Помехи» v_i^* в системе (2.2.) имеют вид

$$v_1^* = 1/2 [\eta_4 v_1/(A_1 - J_1) + \eta_2 v_3/(A_3 - J_3) - \eta_3 v_2/(A_2 - J_2)] \quad (1 \rightarrow 2 \rightarrow 3).$$

Уровни v_i^* можно оценить, используя неравенство Коши–Буняковского и неравенства (1.4)

$$|v_i^*| \leq \beta^*, \quad \beta^* = 1/2[(\beta_1/(A_1 - J_1))^2 + (\beta_3/(A_3 - J_3))^2 + (\beta_2/(A_2 - J_2))^2]^{1/2}. \quad (2.3)$$

Для системы (2.2) решим задачу управления о быстрейшем приведении в положение

$$\eta_i = \eta_i' = 0. \quad (2.4)$$

Управление осуществляется посредством u_i^* при любых допустимых реализациях v_i^* , удовлетворяющих неравенствам (2.3). Для решения данной игровой задачи управления допустимые уровни u_i^* должны быть выше уровней v_i^* . Соответствующие ограничения примем в виде

$$|u_i^*| \leq \alpha_i^*, \quad |v_i^*| \leq \beta^* = \rho_i \alpha_i^*, \quad 0 < \rho_i < 1. \quad (2.5)$$

Процедура назначения уровней α_i^* рассматривается ниже. Здесь считаем их заданными, так что выполняются условия (2.5).

Решение указанной линейной игровой задачи для системы (2.2) использует решение задачи оптимального быстрогодействия для системы

$$\eta_i'' = (1 - \rho_i) u_i^*. \quad (2.6)$$

Краевые условия те же, что и для системы (2.2).

Решение задачи оптимального быстрогодействия для систем типа (2.6) имеет вид

$$u_i^*(\eta_i, \eta_i') = \begin{cases} \alpha_i^* \operatorname{sgn} \psi_i^{\rho}(\eta_i, \eta_i'), & \psi_i^{\rho} \neq 0 \\ \alpha_i^* \operatorname{sgn} \eta_i = -\alpha_i^* \operatorname{sgn} \eta_i', & \psi_i^{\rho} = 0 \end{cases}, \quad (2.7)$$

где $\psi_i^{\rho}(\eta_i, \eta_i') = -\eta_i - [2(1 - \rho_i)\alpha_i^*]^{-1} \eta_i' |\eta_i'|$ – функции переключений.

При $v_i^* \neq -\rho_i u_i^*$ движения системы (2.2), (2.7) на фазовых плоскостях переменных η_i, η_i' будут сначала происходить (до достижения кривых переключений) между дуг парабол, являющихся траекториями систем $\eta_i'' = (1 \pm \rho_i) u_i^*$ при u_i^* вида (2.7). Далее, попав на кривые переключений $\psi_i^{\rho}(\eta_i, \eta_i') = 0$, движения будут происходить вдоль них в скользящем режиме до достижения требуемых конечных значений $\eta_i = \eta_i' = 0$.

Указанные движения системы дифференциальных уравнений (2.2), (2.7) с разрывной правой частью трактуем как решения в смысле

А.Ф. Филиппова: как абсолютно непрерывные функции, удовлетворяющие почти всюду соответствующим дифференциальным включениям

$$\eta_i'' \in F_i = U_i^* + v_i^*,$$

$$U_i^*(\eta_i, \eta_i') = \begin{cases} \alpha_i^* \operatorname{sgn} \psi_i^\rho(\eta_i, \eta_i'), & \psi_i^\rho \neq 0, \\ [-\alpha_i^*, \alpha_i^*], & \psi_i^\rho = 0. \end{cases}$$

На участках решений, соответствующих скользящим режимам, вспомогательные управления u_i^* принимают значения $\pm \alpha_i^*$ с бесконечно частыми сменами знака. Величина

$$\tau = \max(\tau_i), \tau_i = 2\{|\eta_{i0}|(1-\rho_i)\alpha_i^*\}^{-1/2} \quad (2.8)$$

определяет минимальное гарантированное время τ достижения положения $\eta_i = \eta_i' = 0$ во вспомогательной линейной игровой задаче.

Отметим, что те подсистемы системы (2.2), которые придут в требуемое положение раньше, чем последняя из них, будут оставаться в этом положении. При этом соответствующее управление u_i^* в этих подсистемах будут парировать «помехи» v_i^* .

3. Алгоритм решения задачи трехосной переориентации. Решая уравнения системы (1.2) как алгебраические относительно x_i , получаем

$$x_1 = \frac{2}{\eta_4} [\eta_1'(\eta_1^2 + \eta_4^2) + \eta_2'(\eta_1\eta_2 + \eta_3\eta_4) + \eta_3'(\eta_1\eta_3 - \eta_2\eta_4)] \quad (3.1)$$

$$(1 \rightarrow 2 \rightarrow 3).$$

Поэтому решение рассмотренной линейной игровой задачи о быстрейшем приведении в положение $\eta_i = \eta_i' = 0$ означает решение исходной нелинейной задачи переориентации посредством управляющих моментов (2.1). Число τ определяет гарантированное время переориентации.

Итерационный алгоритм решения поставленной нелинейной задачи переориентации включает этапы.

1. Выбор конструкции (2.1) управляющих моментов u_i с u_i^* вида (2.7). В случае $\eta(t_1) \neq (0, 0, 0, 1)$ достаточно перейти к управляющим моментам, получающимся из (2.1) перестановкой индексов.

2. Оценка уровня β^* «вспомогательных помех» v_i^* по формулам (2.3).

3. «Назначение» уровней α_i^* вспомогательных управлений u_i^* . При этом числа α_i^*, β^* определяют соответствующее значение $\tau = t_1 - t_0$ гарантированного времени переориентации твердого тела.

4. Проверка выполнимости заданных ограничений (1.3) для управляющих моментов u_i . При учете равенств (3.1) эту проверку можно осуществить на множестве возможных состояний вспомогательной

линейной системы дифференциальных уравнений (2.2), (2.7), а также линейной неоднородной системы дифференциальных уравнений для определения φ_i' .

Если оценки (1.3) не выполняются, или наоборот, есть «резерв» в их выполнении, необходимо продолжить поиск подходящих чисел α_j^* . В противном случае переориентация осуществляется за время τ .

Система дифференциальных уравнений для определения φ_i' получается после подстановки первых трех уравнений системы (1.1), в которых u_i заменяются соотношениями (2.1), в оставшиеся три уравнения системы (1.1). Коэффициенты в указанной линейной неоднородной системе дифференциальных уравнений зависят от x_i , η_i , свободные члены от x_i , η_i и v_i , и могут быть оценены на множестве возможных состояний вспомогательной линейной системы (2.2), (2.7).

Учитывая, однако, структуру управляющих моментов (2.1), заключаем, что для их оценки достаточно иметь оценки выражений $A_i x_i + J_i \varphi_i'$.

Такие оценки можно получить, используя функцию

$$M^2(t) = \sum \left[A_i x_i(t) + J_i \varphi_i'(t) \right]^2.$$

При вычислении ее производной в силу системы (1.1), используя неравенство Коши-Буняковского и неравенства (1.4), получаем

$$M'(t) \leq \sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2}.$$

В результате искомые оценки имеют вид

$$\left| A_i x_i(t) + J_i \varphi_i'(t) \right| \leq t \sqrt{\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2}.$$

4. Оценки допустимых уровней помех. Укажем прямые оценки допустимых уровней помех v_i , определяющие возможности решения исходной нелинейной задачи переориентации посредством приложенных к маховикам управляющих моментов (2.1).

Обозначим $\gamma = \min [(A_i - J_i)^{-1} (1 + \eta_{i0}^2 / \eta_{40}^2)^{-1/2} \alpha_i]$.

Т е о р е м а . Если область помех определяется неравенством

$$\sqrt{3} \left[\sum \left(\beta_i^2 / (A_i - J_i)^2 \right) \right]^{1/2} + 8\sqrt{2} (1 - \eta_{40}^2)^{1/2} \left[\sum \beta_i^2 \right]^{1/2} < \gamma,$$

то задача переориентации может быть решена посредством управляющих моментов (2.1), (2.7), удовлетворяющих заданным ограничениям (1.3).

5. Результаты компьютерного моделирования. Для гиростата с $A_1 = 4 \times 10^4$, $A_2 = 8 \times 10^4$, $A_3 = 5 \times 10^4$ (кгм²); $J_1 = 4 \times 10^3$, $J_2 = 8 \times 10^3$, $J_3 = 5 \times 10^3$ (кгм²)

рассмотрим задачу трехосной переориентации из начального положения $\eta_{10} = 0.353$, $\eta_{20} = 0.434$, $\eta_{30} = 0.432$, $\eta_{40} = 0.707$ (рад), $\varphi_{i0}' = 0$ в заданное $\eta_i = 0$, $\eta_4 = 1$ положение равновесия ($x_i = 0$). Усложняя задачу, положим $x_{10} = 1 \times 10^{-3}$, $x_{20} = 1.55 \times 10^{-3}$, $x_{30} = 1.15 \times 10^{-3}$ (рад/с).

Допустимые границы изменения помех v_i определим равенствами $\beta^* = 10^{-3}$ (рад/с²), которые выполняются, например, в случае $\beta_1 = 41.57$, $\beta_2 = 83.14$, $\beta_3 = 51.96$ (Нм). Пусть, исходя из требований к маневренности, $\tau = 70$ (с). Оценим, какие ресурсы в этом случае потребуются для переориентации посредством управляющих моментов (2.1), (2.7).

Заданное значение τ предопределяет уровни α_i^* вспомогательных управлений u_i^* . Будем исходить из равенств $T_i = \tau$, означающих «выравнивание» гарантированного времени переориентации по каждой из переменных η_i . Поскольку точки (η_{i0}, η_{i0}') фазовой плоскости в рассматриваемом случае лежат выше кривых переключений $\eta_i = [2(1-\rho_i)\alpha_i^*]^{-1}(\eta_i')^2$, то для нахождения α_i^* получаем соотношения

$$\left(\eta_{i0}' + 2S_i\right)P_i^{-1} = \tau, \quad S_i = \left[\eta_{i0}P_i + 0.5\left(\eta_{i0}'\right)^2\right]^{1/2}, \quad P_i = (1-\rho_i)\alpha_i^*. \quad (5.1)$$

Из равенств (5.1) находим

$$\alpha_1^* = 1.295 \times 10^{-3}, \quad \alpha_2^* = 1.369 \times 10^{-3}, \quad \alpha_3^* = 1.368 \times 10^{-3} \text{ (рад/с}^2\text{)}. \quad (5.2)$$

1) *Случай $v_i^* = -\rho_i u_i^*$ «наихудших» v_i^* .* Значения $\alpha_i = \max|u_i|$ можно найти вдоль оптимальных траекторий системы (2.6), где α_i^* имеют значения (5.2), а также интегрируя численно линейную неоднородную систему дифференциальных уравнений для определения φ_i' . Расчет показывает, что в данном случае $\alpha_1 = 131.25$; $\alpha_2 = 283.55$, $\alpha_3 = 210.55$ (Нм).

2) *Случай $v_i^* \equiv 0$ отсутствия помех.* В данном случае имеет место скользящий режим вдоль кривых переключений, и «в среднем» имеем $u_i^* = (1-\rho_i)\alpha_i^*$ или $u_i^* = -(1-\rho_i)\alpha_i^*$ на соответствующих ветвях кривых переключений. Для оценки уровней u_i будем полагать, что скольжение происходит строго по кривым переключений за время, соответствующее указанным «средним» значениям u_i^* , и вдоль кривых переключений u_i^* принимают значения $\pm\alpha_i^*$ с конечным числом смены знака. Расчет показывает, что $\alpha_1 = 198.86$, $\alpha_2 = 310.66$, $\alpha_3 = 184.69$ (Нм).

Библиографический список

1. Воротников В.И. Об управлении угловым движением твердого тела. Игровой подход. – Прикладная математика и механика. 1994. Т.58. Вып.3. С.82–103.

2. Воротников В.И. Оценка допустимого уровня неконтролируемых помех при переориентации твердого тела. – Космич. исследования. 2001. Т.39. Вып.3. С.295–302.

3. Воротников В.И., Мартышенко Ю.Г. К нелинейной задаче одноосной переориентации трехроторного гиростата при игровой модели помех // Автоматика и телемеханика. 2012. №9. С.35-48.

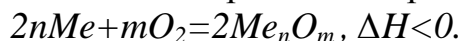
ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ГИББСА – КРИТЕРИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ

*Л.Н. Шибанова, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет»
Филиал УрФУ в г. Верхняя Салда*

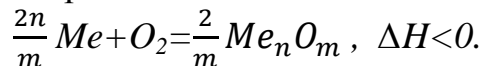
В работе обсуждается необходимость учёта среди прочих равных условий, определяющих развитие коррозионных явлений критерия ΔG направленности процессов в системах. Приведены основные уравнения и диаграмма зависимости стандартного изменения энергии Гиббса ΔG^0 от температуры для реакций образования оксидов Me_nO_m , позволяющие выполнять оценку критерия ΔG .

Жаростойкость или способность металлических материалов противостоять химическому разрушению поверхности под воздействием окислителей воздушной или иных газообразных сред при высоких температурах определяется термодинамической устойчивостью металла против окисления и защитными свойствами оксидных плёнок, формирующихся на его поверхности в процессе окисления.

О термодинамической устойчивости металла против окисления, то есть против химической газовой коррозии, можно судить по величине изменения энергии Гиббса ΔG экзотермической реакции



На один моль кислорода:



ΔG – известный критерий направленности процессов в системах. Величина ΔG может быть определена по уравнению изотермы [1]:

$$\Delta G = RT[\ln Pa_i - \ln k_p], \quad (1)$$

где Pa_i – произведение активностей участников процесса в любой произвольный момент времени, параметр, характеризующий фактические условия осуществления процесса; k_p – константа равновесия реакции.

Для реакции окисления двухвалентного металла $Me + \frac{1}{2}O_2 = MeO$:

$$K_p = \frac{1}{(P_{O_2}^{1/2})_{\text{равн}}}, \quad Pa_i = \frac{1}{(P_{O_2}^{1/2})_{\text{факт}}}. \quad (2)$$

Металл термодинамически устойчив против химической газовой коррозии (окисления), если величина ΔG реакции окисления положительна; в этом случае наиболее вероятным направлением реакции является обратный процесс. Коррозия металла возможна, если величина ΔG реакции окисления отрицательна.

Таким образом, при условии $(P_{O_2})_{\text{факт}} > (P_{O_2})_{\text{равн}}$ $\Delta G < 0$, металл будет подвержен окислению. Коррозионные процессы замедляются, если $(P_{O_2})_{\text{факт}} < (P_{O_2})_{\text{равн}}$. Чтобы предотвратить окисление металла, замедлить его химическую коррозию в газовой среде, следует поддерживать парциальное давление кислорода в фактических условиях течения процесса меньшим по сравнению с равновесным парциальным давлением, характерным для реакции окисления данного конкретного металла. Величины $(P_{O_2})_{\text{равн}}$ для большого круга металлов приведены в работах [2,3].

Часто для приближенной оценки термодинамической устойчивости металла рассчитывают величину ΔG с привлечением данных о стандартном изменении энергии Гиббса ΔG^0 реакции образования оксидов:

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{1}{(P_{O_2}^{1/2})_{\text{равн}}} . \quad (3)$$

Здесь T – температура, R – универсальная газовая постоянная,
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

Для ряда оксидов [4] (Таблица):

Таблица

Оксид	CuO	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₃ O ₄	ZrO ₂	Al ₂ O ₃
$-\Delta G^0, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	134,3	244,3	740,3	856,7	889,5	1014,2	1039,7	1582,3

Чем больше величина $|\Delta G^0|$, тем выше сродство металла к кислороду, тем интенсивнее металл окисляется, тем устойчивее образующийся оксид. Согласно (3) при понижении парциального давления кислорода $(P_{O_2})_{\text{факт}}$ в газовой фазе термодинамическая устойчивость металла возрастает.

На рис. 1 представлена диаграмма, позволяющая приближенно оценить стойкость различных металлов против химической коррозии. По диаграмме можно определить условия окисления чистых металлов газовой фазой с заданным парциальным давлением кислорода. Для этого точку 0 в верхнем левом углу диаграммы нужно соединить линией с точкой на прямой ΔG^0 для реакции образования оксида, соответствующей заданной температуре. Равновесное парциальное давление кислорода находится на пересечении этой линии со шкалой P_{O_2} на диаграмме. Диаграмма также

позволяет определить условия окисления чистого металла газовыми смесями CO-CO₂ и H₂-H₂O.

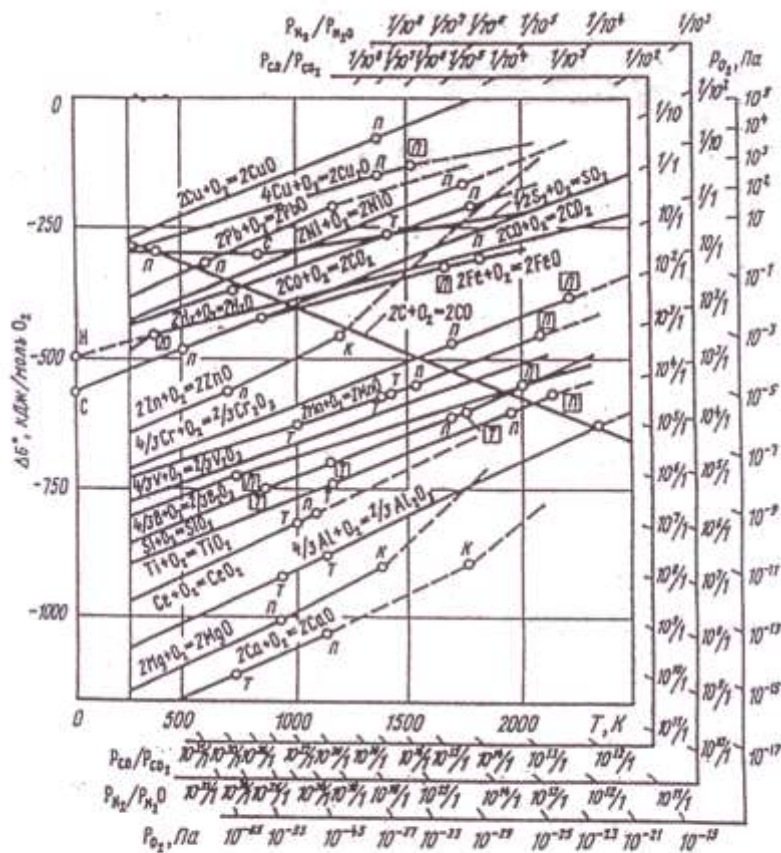


Рис. 1 Зависимость стандартного изменения энергии Гиббса (ΔG^\ominus) от температуры (Т) для реакций образования оксидов

Самопроизвольное разрушение материалов в растворах электролитов, электрохимическая коррозия, возможно также при условии $\Delta G < 0$.

В электрохимии величина ΔG суммарной реакции, отражающей механизм электрохимической коррозии, определяется в соответствии с равенством [1]:

$$\Delta G = -ZFE. \quad (4)$$

Здесь Z – число электронов, отдаваемых металлом или присоединяемых окислителем в анодном или катодном процессах электрохимической реакции; F – постоянная М. Фарадея, $F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кул}}{\text{моль}}$; E – электродвижущая сила, равная разности величин равновесных электродных потенциалов на катоде φ_p^{ox} и на аноде φ_p^{Me} , $E = \varphi_p^{\text{ox}} - \varphi_p^{\text{Me}}$. Металл проявляет термодинамическую устойчивость против электрохимической коррозии в условиях $\varphi_p^{\text{Me}} > \varphi_p^{\text{ox}}$. Величины

равновесных электродных потенциалов приведены в соответствующих таблицах [6].

Таким образом, среди прочих равных условий, определяющих развитие коррозионных процессов, критерий направленности ΔG играет главенствующую роль и требует учёта при изучении условий контакта конструкционных материалов с коррозионными средами.

Библиографический список

1. Жуховицкий А.А. Физическая химия / А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман. М.: Металлургия, 2001. 686с.
2. Явойский В.И. Теория процессов производства сталей. М.: Металлургия, 1987. 700 с.
3. Куликов И.С. Раскисление металлов. М.: Металлургия, 1979. 255 с.
4. Куликов И.С. Термодинамика оксидов : Справочник. М.: Металлургия, 1986. 344 с.
5. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономарёвой. СПб : Медный всадник, 2003. 240 с.

ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПОМЕХ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Феофанова В.А., Воротников В.И., Мартышенко Ю.Г., НТИ (филиал) УрФУ

Рассматривается задача «прохождения» асимметричным твердым телом заданного углового положения в трехмерном инерциальном пространстве. Управление осуществляется посредством моментов внутренних сил, приложенных к трем маховикам (роторам), оси вращения которых закреплены вдоль главных центральных осей инерции тела.

В отличие от задач переориентации, разворот не связывается с приведением тела в состояние покоя, и финальная угловая скорость тела может быть произвольной. В этом случае обеспечивается лишь «прохождение» (гарантированное) телом заданного углового положения. Такой подход небезынтересен в случае необходимости быстреего разворота тела для совершения кратковременных операций в момент достижения им требуемой ориентации в пространстве. Например, это может быть фотографирование, поражение цели, передача информации и т.п.

Приложенные к маховикам управляющие моменты предлагается формировать по обратной связи как нелинейные функции фазовых переменных рассматриваемой конфликтно-управляемой системы, включающей динамические уравнения Эйлера и кинематические уравнения в переменных Родрига-Гамильтона. В результате решение исходной нелинейной игровой задачи управления удастся свести к решению простейших линейных игровых задач.

Полученные результаты являются развитием предыдущих работ авторов, где рассматриваются задачи пространственного разворота с приведением тела в состояние покоя.

При отсутствии помех проведено сравнение рассматриваемой задачи пространственного разворота тела и традиционной задачи переориентации с приведением тела в состояние покоя. Показано, что при одних и тех же геометрических ограничениях на управляющие моменты рассматриваемый разворот тела осуществляется и за существенно меньшее время, и меньшими энергетическими ресурсами. Также подчеркнем, что при отсутствии помех рассматриваемый подход к построению управлений позволяет получить субоптимальные по быстродействию законы управления в традиционной задаче переориентации тела.

СОДЕРЖАНИЕ

НТИ (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил

Машиностроение и металлообработка

<i>Акулова А.А., Кузнецова Е.Ю.</i> УТИЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ: МИРОВОЙ ОПЫТ И ЗАДАЧИ РФ	4
<i>Гурина Т.С.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТА МАРКИ Т-3А	7
<i>Ищенко И.В., Осипенкова Г.А.</i> СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	11
<i>Кравченко Н.С., Кравченко Л.М.</i> ЗАЩИТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ	14
<i>Кравченко Н.С., Кравченко Л.М.</i> СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ	17
<i>Логонов Ю.Н., Фомин А.А.</i> НАПРЯЖЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПЛАТИНОРОДИЕВОГО СПЛАВА ПлРд – 10	20
<i>Малюшкин С.С., Филимонов И.Е.</i> АНАЛИЗ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПАКЕТОВ В ПРОГРАММЕ MATLAB SIMULINK	23
<i>Малюшкин С.С., Филимонов И.Е.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	27
<i>Медисон В. В.</i> УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭДС ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ	32
<i>Мусинов М.В.</i> ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕКОННОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ	36
<i>Пегашкин В.В., Васильев С. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПОЛУВАГОНА С ГЛУХИМ СКРУГЛЁННЫМ НИЗОМ КУЗОВА	37

Пегашкин В. Ф., Даниленко Д. В. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА ВАГОНА	39
Пегашкина Е.В., Пегашкин В.Ф., Гаврилова Т.М. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УПРОЧНЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	42
Пегашкин В.Ф., Сувернев М.Н. РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ЭЛАСТОМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА АВТОСЦЕПКИ	45
Пирожков А.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПОТОКА ГОРЯЧЕГО ВОЗДУХА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ	49
Фирстов А.П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИОННОГО СОСТАВА НАТРИЕВЫХ СИЛИКАТНЫХ СИСТЕМ	51
Фирстова Н.Д. КОМПЬЮТЕР В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ	53

Системы автоматизации технологических процессов

Аминев А. В., Блохин А. В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ	56
Буславьев А. С., Тимофеев В. Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТА КОНВЕРТОРА	60
Гоман В.В., Федореев С.А., Усков И.А., Жуков А.В., Дарьин А.К. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	65
Гоман В.В., Федореев С.А., Усков И.А., Жуков А.В., Дарьин А.К. ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В РАЗБОРНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	68
Дербенев О.В., Кожеуров В.Н. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКРАСКИ ВАГОНОВ	71
Буславьев А.С., Грац П.А., Пушница Д.В., Иванушкин В.А. К ВОПРОСУ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ	74

Исаев И. Н. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ	78
Исаев И. Н. СИСТЕМА НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ ИНДУКЦИОННЫМ ТОКОМ С ДВУМЯ СОСТАВЛЯЮЩИМИ	82
Кожеуров В.Н., Поздеев С.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	86
Козырев К.А., Кожеуров В.Н. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ГЕМОДИАЛИЗА	90
Кузьмина Н.А. ОДНА ИЗ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ	93
Кузьмина Н.А. О ДИНАМИЧЕСКОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВХОДОВ В СИСТЕМЕ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ	95
Латинская Е.И., Подоляк О.О. ПРОБЛЕМАТИКА ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ЗАКАЗАМИ	96
Красильникова О.К., Маркова Е.Б., Серов Ю.М. КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ ПРОПАНА, КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ФРАКЦИИ ПРИ ДОБЫЧИ НЕФТИ	99
Раскатова Е.А., Назмиев Т.В., Дьяков В.А. ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ	102
Раскатов Т.Г., Федосеева Н.В., Исаев А. И., УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ КФК-85	104
Тимофеев В. Л., Торова О.Л. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАЖИМНОГО МЕХАНИЗМА ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ 1300 ЦЕХА ПРОКАТКИ ШИРОКОПОЛОЧНЫХ БАЛОК НТМК	105
Воротников В.И., Мартышенко Ю.Г. К ЗАДАЧЕ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ ГИРОСТАТА ПРИ ИГРОВОЙ МОДЕЛИ	108
Шибанова Л.Н. ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ГИББСА-КРИТЕРИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ	115
Феофанова В.А., Воротников В.И., Мартышенко Ю.Г. ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПОМЕХ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА	118