

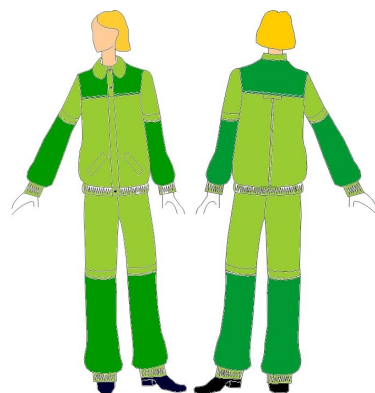


Рисунок 1 – Куртка и брюки для работников теплиц

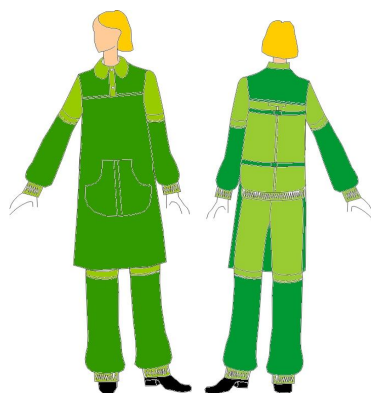


Рисунок 2 – Куртка и брюки в комплекте с фартуком

Тепличники непосредственно контактируют с растениями обработанными пестицидами и другими вредными веществами. Именно поэтому при разработке конструкции были усилены такие зоны, как: область шей (стояче-отложной воротник), верхняя область груди (отлетная кокетка из водонепроницаемой ткани), предплечье (отстегивающаяся нижняя часть рукава из водонепроницаемой ткани).

Цветовая гамма, несомненно, имеет большое значение для спецодежды. Цвет одежды передает определенное настроение. Как считают специалисты, такие цвета, как ярко-красный, нежно-розовый, светло-зеленый могут поднять настроение, светло-зеленый цвет успокаивает. Так же цвета обладают свойствами поглощать и отражать свет. Спецодежда для тепличников не должна быть темных цветов, так как такие цвета поглощают свет и в этой одежде становиться слишком жарко. Но и выбранный цвет должен быть не марким, так как они контактируют с сельскохозяйственной продукцией, поэтому выбраны такие цвета, как светло-зеленый от теплого до холодного и светло-синий.

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод: разработанный вид спецодежды соответствует не только основным направлениям моды, но и условиям работы в теплицах:

- защита от пестицидов;
- изделие гармонично, отличается новизной модели и конструкции;
- уменьшена трудоемкости обработки за счет ликвидации отдельных операций, упрощения способов обработки застежки и карманов, создания условий для максимальной механизации технологических процессов и повышения производительности труда.

ФАКУЛЬТЕТ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.826; 621.888.4/6; 62-27; 62-752.2

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕМПФЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

Бычков М.В., гр.11-МХ
Рук. Савин Л.А.

Человек в современном индустриальном обществе постоянно соприкасается с вибрационными явлениями: на производстве, в транспорте, в быту. Источниками вибрации являются разнообразные машины, технологическое оборудование и транспортные средства [1]. Вибрация – это механические колебания, возникающие в упругих телах под воздействием переменных сил.

Последствия вибрации:

- 1) Разрушение и повреждение элементов машин
- 2) Нарушению функционирования техники и серьезные аварии
- 3) Негативное влияние на человека

К виброзащите относится метод демпфирования колебаний, при котором снижение вибрации происходит за счет рассеяния энергии механических колебаний в результате необратимого преобразования ее в тепловую при возникающих в материале конструкции деформациях.

Классификация демпферных устройств:

1. Механические
2. Гидравлические, газовые
3. Мехатронные

Примером механического демпфера является рессора представляет собой пакет листов различной длины, изготовленных из закаленной стали и соединённых хомутами. Листовая рессора работает на изгиб как упругая балка.

Основным рабочим элементом торсионной рессоры является торсион — упругий стержень, работающий на скручивание. Торсионные рессоры применяются, в основном, для подвесок бронемашин.

Пружинные рессоры железнодорожного вагона. В пружинной рессоре в качестве рабочего упругого элемента используется пружина [2].

Гидравлическое демпфирующее устройство – демпфер, схема которого показана на рисунке 1. Сила P , приложенная к штоку 1, вызывает поступательное движение поршня 2 внутри гидроцилиндра 3, заполненного рабочей жидкостью и закрепленного на опоре 4.

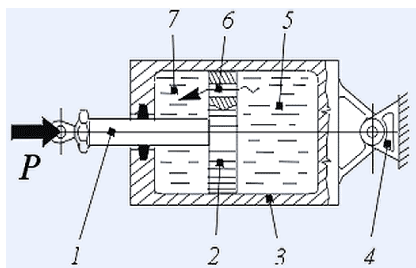


Рис.1 Схема гидравлического демпфера

При этом рабочая жидкость вытесняется поршнем 2 из полости 5 цилиндра и, проходя через калиброванные отверстия 6 в поршне 2, поступает в полость 7 гидроцилиндра. Работа силы P на перемещение штока расходуется на преодоление сил трения подвижных частей и, в основном, на проталкивание рабочей жидкости через калиброванные отверстия, т.е. на преодоление сил гидравлического сопротивления при перетекании жидкости.

За счет трения частиц жидкости друг о друга и о стенки отверстия повышается температура жидкости и конструкции демпфера. Через стенки демпфера в виде тепла рассеивается в пространстве вся энергия, приложенная к штоку демпфера [3].

Газовый демпфер - демпфер, действующим веществом которого является газ. Возвратно-поступательное движение штока амортизатора затрудняется работой по перепуску газа через небольшое отверстие из одной камеры в другую. Газовые амортизаторы - жесткие, и в свободном состоянии давление газа приводит к раздвиганию амортизатора, т.е. он, как и пружина, пытается поднять автомашину [4].

EDC (Elektronische Daempfer-Control) – электронная система регулировки жесткости амортизаторов. Система электронного управления демпфером EDC контролирует вибрации кузова. Все показатели, влияющие на поведение на дороге, постоянно отслеживаются датчиками. После обработки данных, микропроцессор отправляет команду демпферам. Электромагнитные клапаны регулируют усилие демпферов для управления движением. [5]

Рулевой демпфер позволяет исключить эффект вобблнга. Вобблинг- эффект возникающего на скорости биения переднего колеса мотоцикла или шасси самолета, вызывающий биение колеса и "виляние" траектории движения из стороны в сторону. Рулевые демпферы работают только в случае возникновения колебаний. Компьютер говорит демпферу насколько сильно нужно зажать руль. Преимущества этих видов гасителей в том, что руль крутить можно легко и мотоцикл управляется при маневрировании на низких скоростях очень хорошо [6].



а) - Система электронного управления демпфером EDC; б) – Рулевой демпфер, в) - Магнитоореологическая жидкость

Рис. 2 Мехатронные демпферные устройства

Магнитоореологическая жидкость (MR fluid) - смесь особого рода. Все они состоят из густой маслянистой основы, в которой плавает мелкая металлическая стружка. Если такую жидкость поместить в магнитное поле, металлическая стружка выстроится в строгом порядке и жидкость в мгновение затвердеет, а как только магнитные силы перестанут действовать — моментально превратится обратно в желе.

МР-жидкости применяются — по большей части в разнообразных амортизационных системах: ведь менять магнитное поле можно тысячи раз в секунду, в ответ на малейший толчок. МР-жижа плещется в амортизаторах многих спортивных машин, используется в качестве межсуставной жидкости в некоторых моделях искусственных конечностей [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.mhts.ru/biblio/Articles/vibr.pdf>
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пе́цкопа>
3. http://kurs3.as-club.ru/aero/html/kurs_922_0.html
4. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У., Колебания в инженерном деле. - 1984
5. <http://www.jcwiki.ru/EDC>
6. http://www.jcwiki.ru/Рулевой_демпе́р
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetorheological_fluid

УДК 004.896

СОВРЕМЕННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Галичев А.С., гр. 11-МХ

Рук. Савин Л. А.

Робот – это универсальная автоматическая система для воспроизведения физических и интеллектуальных функций человека. Робот в общем случае состоит из следующих элементов: системы связи, информационной системы, управляющей системы и двигательной системы. Система связи предназначена для обмена информацией между роботом и человеком, а также для связи с другими роботами. Информационная система предназначена для восприятия и преобразования информации о состоянии внешнего мира. В качестве элементов сенсорной системы обычно используются датчики положения скорости, сил и моментов. Управляющая система – своеобразный «мозг» робота. Она служит для распознавания среды, планирование действий и принятие решений. Двигательная система характеризует динамические свойства робота, в частности его способность совершать разнообразные движения [1].

К настоящему времени сформировалось три поколения роботов. Роботы первого поколения – это роботы с программным управлением, предназначенные для выполнения определенной, жестко запрограммированной последовательности операций. Управление такими роботами осуществляется по заранее заданной программе. Роботы второго поколения – это роботы с адаптивным управлением. Они имеют существенно более широким набором датчиков (телевизионные) и более сложную управляющую систему. Благодаря самонастройке управляющей системы робот может автоматически приспосабливаться к заранее неизвестным и изменяющимся условиям эксплуатации. Третье поколение роботов – это интеллектуальные роботы. Они отличаются от роботов второго поколения сложностью функций и имеют искусственный интеллект. Необходимо отметить, что интеллектуальные роботы предназначены для решения интеллектуальных задач [2].

По степени участия человека, управляющие системы подразделяются на два класса – автоматизированные и автоматические. Автоматизированные управляющие системы характеризуются тем, что в них функции управления распределены между человеком-оператором и автоматическими устройствами. Эти системы в свою очередь подразделяются на биотехнические и интерактивные. В биотехнических управляющих системах человек фактически берет на себя управление двигательными механизмами робота. Интерактивные управляющие системы характеризуются активным общением и взаимодействием робота с человеком. Автоматические управляющие системы робота работают без участия человека. Роль человека сводится лишь к формулировке задания, начальной наладке и текущему ремонту робота. По принципу управления эти сис-

темы делятся на программные, адаптивные и интеллектуальные. Системы второго типа реализуют сенсорное управление, т.е. управление с обратной связью от сенсорной системы, структура и параметры которого остаются неизменными в течение всего времени эксплуатации робота.

К первому классу робототехнических систем относятся промышленные роботы, которые, в свою очередь, можно разделить, в зависимости от назначения, на операционные, подъемно-транспортные, измерительные и сборочные. Ко второму классу относятся обслуживающие роботы, предназначенные для облегчения труда человека во внепроизводственной сфере. Их можно разделить на вспомогательные роботы, медицинские, роботы для дома и развлечений.

К третьему классу относятся роботы специального назначения, которые применяются там, где затруднено или невозможно присутствие человека в случаях, когда это связано с риском для его жизни и здоровья. Такие роботы можно разделить на четыре подкласса: роботы для работы в условиях радиоактивного, химического и другого вида заражения, роботы для космоса, подводные и военные роботы.

В настоящее время существует несколько востребованных моделей роботов:

- Домашний робот. Данная модель облегчит жизнь людям. Им не надо будет убирать в доме, стирать, готовить и т.д. Так грабителям сложнее будет проникнуть в жилище и что-нибудь украсть.
- Транспортные средства для перевозки людей. К ним относятся самоуправляющие поезда, бортовые миноискатели (ставился перед поездом для проверки пути от мин, такая модель могла взрывать мины на своем пути, а так же сообщать машиниста об опасности впереди), автомобили, которые движутся без водителя. Транспортные средства, управляющие роботом еще не до конца исследованы.
- Роботы для испытаний. Конструирую новые машины, ракеты и т.д. необходимо их испытывать на надежность, и для этого используются данная модель для безопасности жизни людей.

Наряду с такими роботами существуют еще боевые роботы, роботы-фармацевты, роботы-санитары, робот-фотограф, танцующие роботы и т.д. [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. Для подготовки данной работы были использованы материалы с сайта <http://www.sadod.ru/chto-takoe-robotyi-11.html>
2. Для подготовки данной работы были использованы материалы с сайта <http://www.sadod.ru/tri-pokoleniya-robotov.html>
3. Дж. Ф. Янг, Робототехника. – 1979.-С. 9-27.
4. Афонин В. Л., Макушкин В. А. Интеллектуальные робототехнические системы. – 2005.

УДК 004.896

МЕХАТРОННЫЕ ПОДШИПНИКОВЫЕ УЗЛЫ SENSOR LINE ENCODER. СИСТЕМА ACTIVE SENSOR BEARING (ASB)

Золотухин Д.А., гр. 11-MX
Рук. Савин Л. А.

В промышленном оборудовании, где требования к надежности и точности, при уменьшении массы и габаритов, все больше увеличиваются, применение новых технологий желательно, а иногда просто необходимо. Технология ASB® или Active Sensor Bearing заключается в замене пассивного датчика (зубчатого венчика и индуктивного сенсора) на активный (сенсор с магнитным энкодером). Кольцо с последовательным чередованием полюсов, вращаясь, передает сигнал со скоростью вращения колеса на сенсор. Эти сигналы поступают на электронную систему стабилизации (ESP) и антиблокировочную тормозную систему (ABS), которые контролируют следующие данные: скорость вращения каждого из колес и давление в тормозной системе; помогающие следить за поворотами руля, боковым ускорением автомобиля, режимами работы двигателя и трансмиссии. Мехатронные подшипниковые узлы Sensor Line Encoder с интегрированным датчиком углового перемещения, применяемые в автомобилестроении, благодаря компактности и высокой надежности работы в сложных окружающих условиях, были интересны и для клиентов в сфере промышленности [2]. Подшипник Sensor Line Encoder® включает в себя кодировщик и сенсор. Расположенный в самом центре движения, датчик Sensor Line передает информацию об угловом смещении и скорости вращения в течение более 32 периодов за один оборот.

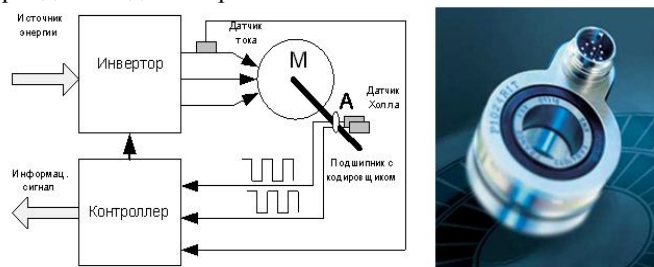


Рис. 1. Подшипник Sensor Line Encoder®. Принципиальная схема работы

Таким образом, объединяются функции подшипника и измерительного устройства. Уникальной особенностью этой технологии ASB® является то, что она представляет особые подшипники (Sensor Line Encoder) с микропроцессорным управлением, содержащие в себе кроме датчика скорости вращения еще и

датчик температуры. С помощью этого мехатронного модуля могут измеряться амплитуды вибрации. Это позволяет сделать подшипниковый узел любого электропривода более функциональным, расширить его возможности и область применения. Sensor Line Encoder может достигать разрешения 4096 импульсов за один оборот с радиусом чтения всего 15 мм, обеспечивая точность позиционирования более чем 0,1°! Таким образом, Sensor Line Encoder во многих случаях может заменить стандартное оптическое кодирующее устройство, при этом придавая дополнительные функции и преимущества [3].

Продолжаются исследования по промышленной адаптации технологии ASB®. Компания Continental Teves – включает внедрение датчиков угла поворота рулевого колеса ASB® 2, с электромагнитным двухполюсным энкодером, что позволит оптимизировать работу электронных систем автомобиля и увеличить уровень безопасности и комфорта. Повышенная функциональность в измерениях нескольких показателей при движении автомобиля – основное преимущество ASB® 2 по сравнению с традиционным ASB®, способным измерять только скорость вращения.

ASB® 3 – датчик сцепления колёс с дорогой, измеряющий в реальном времени деформацию, например, двупланцевого подшипника. Зафиксировав эту деформацию, измеряемую в микронах, на одном из виражей, датчик запоминает её. В следующий момент, при наезде колеса на скользкий участок покрытия, колесо начинает скользить, вследствие чего происходит смена сил, действующих на колёса, и датчик тут же реагирует на изменившуюся величину деформации подшипника, идет подача сигнала одному из колес (в зависимости от ситуации) притормозить, чтобы избежать заноса автомобиля [4].

ASB® 4 будет завершающим аккордом эры открытий в сфере информационных технологий для подшипников. Уже началась реализация этого проекта под названием Captausom (Capteur Autonome Communicant). Этот подшипник – достойное предложение для рынка, специализирующегося на реализации разработок в области внутренней диагностики и предикативных работ, что, например, позволит определить состояние подшипника по температуре смазки или его вибрации.

Таким образом, объединение функции подшипника и измерительного устройства в одном блоке, положительно скажется на экономических показателях, компактности и надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мехатроника. Робототехника. Автоматизация. Вып. 1: сборник научных трудов (с международным участием) / под общей редакцией М. М. Аршапский. – М: МГТУ, 2006 – 210с.
2. <http://www.patentstorm.us/patents/>
3. <http://www.snr.com.ru/e/mechatron.htm>
4. <http://www.electrik.org/index.php?showtopic=3188>

ГИДРОСТАТОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОДШИПНИКИ

Кожухов М.А., гр. 11-МХ

Рук. Савин Л.А.

Роторные машины находят широкое применение в самых различных областях человеческой деятельности. Неотъемлемым элементом любой роторной машины является роторно-опорный узел. При этом их в полной мере можно назвать критическими элементами, во многом определяющими удельные показатели и работоспособность машин.

В зависимости от вида трения в кинематической паре «вал-подшипник» различают следующие виды подвеса роторов: подшипники качения, подшипники скольжения, электромагнитный подвес.

Наиболее широкое применение в качестве опор роторов получили подшипники качения, которые изготавливаются специализированными предприятиями и представляют собой, как правило, стандартные изделия, имеющие конкретные параметры и прогнозируемую вероятность безотказной работы при определенных условиях. Однако опоры качения имеют ряд недостатков, в числе которых следует отметить ограниченную предельную быстроходность, малый ресурс при высоких частотах вращения и низкий уровень демпфирования. Это приводит к тому, что в ряде случаев необходимость использования подшипников скольжения является практически безальтернативным.

Подшипниками скольжения жидкостного трения называют опоры роторов, в которых между трущимися поверхностями имеется разделительный слой, выполняющий смазочные и охлаждающие функции, а также передачу сил от рабочих колес и других подвижных элементов на корпус. Основными преимуществами этих подшипников являются: высокая скорость вращения, возможность работы в воде при вибрационных и ударных нагрузках, допускают регулирование различного зазора и следовательно точную установку геометрической оси вала [2].

В последнее время начинают активно применяться активные магнитные подшипники.

Все в нашем мире стремится к развитию. Можно выделить следующие тенденции развития современных роторных машин:

- частоты вращения стремятся к 100000 и более об/мин
- ресурс при этом составляет 10-100 тыс. часов
- минимальные потери мощности
- минимальный расход смазочного материала
- использование не традиционных смазочных материалов (вода, воздух)

При этом должна обеспечиваться высокая надежность, точность положения ротора и отсутствие нежелательных вибраций. В связи с этим, ведущие

разработчики и производители подшипников, такие как SKF и SNR Group, в настоящее время большое внимание уделяют исследованиям и реализации в подшипниковых узлах функций контроля, диагностики и управления движением.[2]

Существуют отдельные классы машин, в которых присутствуют высокие давления подачи смазочного материала и скорости вращения роторов. В этих случаях для создания несущей способности опор рационально совместно использовать эффекты гидродинамического клина и гидростатического всплытия. Гидростатодинамическими подшипниками называют такие опоры, работоспособность которых обеспечивается за счет давления подачи смазочного материала в питающие камеры и формирования гидродинамического клина из-за наличия достаточно больших свободных опорных поверхностей и высокой скорости вращения ротора. Создание подъемной силы для разделения опорных поверхностей возможно в ГСДП при невращающемся вале, что очень важно для обеспечения работоспособности опорного узла на пусковых режимах. Несущие камеры могут выполняться различных размеров и конфигураций. Для подшипников, работающих с высокими скоростями, целесообразно уменьшить объемы и размер камер. Это связано с тем, что увеличивается площадь несущей поверхности при образовании гидродинамического клина, улучшаются динамические свойства смазочного слоя и повышается порог устойчивой работы подшипника.[1]

Классификация ГСДП весьма разнообразна: 1) по направлению действия воспринимаемой нагрузки различают радиальные, осевые (упорные) и радиально-упорные подшипники; 2) особое направление классификации подшипников жидкостного трения может быть выполнено по виду дросселирования смазочного материала, подача смазки в зону трения может осуществляться в радиальном, осевом (щелевое дросселирование) направлении и смешанным способом; 3) по виду опорной поверхности бывают многоцентровые, многоклиновые и обычные; 4) по способу управления – управляемые, не управляемые и диагностируемые.

Основная цель опор роторов - обеспечение необходимого положения ротора в пространстве машины.

Для обеспечения положения ротора, уменьшения нежелательных колебаний ротора, реализации устойчивого движения ротора в различных режимах, выгодно применять контроль и управление движением ротора.

Принцип управления движением ротора заключается в следующем:

Опора создает силы, воздействующие на ротор, которые способствуют удержанию ротора в положении, при котором достигаются наиболее эффективный режим работы подшипника, способствуют подавлению внешних воздействий и нежелательных реакций на них ротора.

В подшипниках скольжения воздействие на ротор осуществляется с помощью смазочного слоя, который не дает соприкасаться ротору с опорой. Состояние подшипника постоянно отслеживается специальными сенсорами, информация с которых собирается блоком сбора данных и в преобразованном ви-

де передается на схему управления подшипником. В ней, с помощью вложенной математической модели, производится анализ состояния подшипника, расчет дальнейшего поведения ротора и необходимой реакции со стороны опоры для предотвращения нежелательных эффектов. Полученные расчетные данные позволяют схеме управления сформировать управляющие сигналы, с помощью которых блок коррекции изменяет требуемым образом силы воздействия опоры на ротор подшипника.

Адаптивный ГСДП – интеллектуальная роторная опора, работоспособность которой обеспечивается за счет подачи под давлением смазочного материала в питающие камеры и формирования гидродинамического клина из-за наличия достаточно больших свободных опорных поверхностей и высокой скорости вращения ротора. Причем давление подачи смазочного материала регулируется схемой управления, в зависимости от величины конфузорно-диффузионного зазора, положения ротора, скорости вращения ротора.[1]

Использование ГСДП в некоторых областях человеческой деятельности является практически безальтернативными. К таким областям можно отнести следующие:

- 1) Высокоскоростные агрегаты длительного ресурса с электрическим и турбинным приводом, с частотами вращения роторов $n=1\ldots 10\text{кГц}$.
- 2) Агрегаты энергетических установок электростанций всех видов, масса роторов которых составляет десятки и сотни тонн.
- 3) Необходимость выполнения радиальных подшипников разъемными, например, в двигателях внутреннего сгорания.
- 4) Технологическое оборудование, в элементах которого действуют динамические нагрузки ударного характера.
- 5) Агрегаты нефтехимической и металлургической промышленности, работающие в агрессивных средах.
- 6) Шпиндели точных высокоскоростных металлорежущих станков.
- 7) Приборы и аппараты повышенной точности, требующие высокого уровня позиционирования вращающихся деталей и очень низкого коэффициента трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография / Л.А. Савин, О.В. Соломин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.
2. Савин Л.А. Интеллектуальные технологии в роторных машинах новых поколений // ИНЖИНИРИНГ-2009: сб. трудов региональной научно-практической конференции. – Орёл: «Издательский дом «Орловская литература и книгоиздательство» и К», 2009. – С. 7-13.

УДК 004.8.032.26

МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Тюрин В.О., гр. 11-МХ
Рук. Савин Л.А.

Мягкие вычисления – понятие, объединяющее такие области как нечеткая логика, нейронные сети, вероятностные рассуждения, сети доверия, которые, дополняя друг друга, используются в различных комбинациях или по отдельности для создания гибридных интеллектуальных систем.

Термин был введен в 1994 г. американским профессором Лотфи Заде. По сути он означает новый метод вычислительной математики, который в ряде проблемных областей оказался более эффективным, чем традиционные методы. Руководящим принципом мягких вычислений является: «терпимость к неопределенности, неопределенности и частичной истинности, низкой стоимости решения и лучшего согласия с реальностью». Исходной моделью для мягких вычислений служит человеческое мышление [3].

Нейронные сети. В наши дни возрастает необходимость в системах, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными данными, но и способны сами анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование и т.д.[3]. В этой области приложений наиболее эффективными оказались так называемые нейронные сети – самообучающиеся системы, имитирующие деятельность человеческого мозга. Искусственные нейронные сети — математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы.

Нечёткая логика. Нечёткая логика — раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств. Понятие нечёткой логики было впервые введено профессором Лотфи Заде в 1965 году. В этой работе понятие множества было расширено допущением, что функция принадлежности элемента к множеству может принимать любые значения в интервале $[0\ldots 1]$, а не только 0 или 1[4]. Такие множества были названы нечёткими. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем, объектов.

Сети доверия. Сеть доверия, или Байесовская сеть доверия, – это вероятностная модель, представляющая собой множество переменных и их вероятностных зависимостей. Формально, байесовская сеть — это направленный ациклический граф. Граф — это совокупность объектов со связями между ними. Предположим, что может быть две причины, по которым газон может стать

мокрым: сработала дождевальная установка, либо прошел дождь. Также предположим, что дождь влияет на работу дождевальной машины (во время дождя установка не включается). Тогда ситуация может быть смоделирована проиллюстрированной Байесовской сетью:

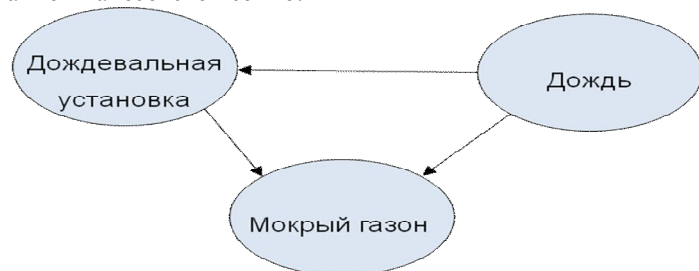


Рис.1. Пример Байесовской сети доверия.

Вероятностные рассуждения. Основные принципы вероятностных рассуждений были сформулированы Голландом в 1975 году. Его заинтересовала эволюция, происходящая в природе. Вероятностные суждения моделируют те процессы, которые являются существенными для развития. В природе особи в популяции часто конкурируют за привлечение брачного партнера. Те особи, которые наиболее приспособлены к окружающим условиям, будут иметь относительно больше шансов воспроизвести потомков. Слабо приспособленные особи либо совсем не произведут потомства, либо их потомство будет очень немногочисленным. Это означает, что гены от высоко адаптированных или приспособленных особей будут распространяться в увеличивающемся количестве потомков на каждом последующем поколении. Таким образом, вид развивается, лучше и лучше приспособляясь к среде обитания. Вероятностные рассуждения используют прямую аналогию с таким механизмом. Они работают с совокупностью объектов, каждый из которых представляет возможное решение данной проблемы.

На сегодняшний день мягкие вычисления применяются во многих сферах жизни людей: финансово-экономическая система, биология и как самая важная для нас мехатронные роторные системы. С помощью нейронных сетей необходимо запрограммировать последовательность действий так, чтобы система могла анализировать поступающую информацию и производить прогнозирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. - М.: Горячая линия – Телеком, 2001, 382 с.
2. Позин Н.В. Моделирование нейронных структур. – М.: Наука, 1970.
3. <http://basegroup.ru>
4. <http://wikipedia.org>

УДК621.8.031

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ СЛИТКОВ

Борисов Р.С., гр. 11-Д(б)м
Рук. Бурнашев И. И.

В настоящее время трубы нефтяного сортамента, высокопрочные для котлов высокого давления и атомной энергетики в большом количестве производят на установках с пилигримовыми станами, они отличаются большой производительностью, высоким уровнем механизации и автоматизации технологического процесса.

Однако, качество труб, получаемых на этих установках, еще во многом не отвечает высоким требованиям к продукции этой категории, а по некоторым показателям ниже уровня соответствующей продукции, изготавливаемой на действующих установках старого типа.

Анализ работы модернизированных установок показывает, что прошивка заготовок на гидравлическом прессе по методу Эрградта способствует распространению ликвационной зоны слитка в стенки стакана из-за радиального течения металла из под торца заготовки, как следствие, ведет к увеличению количества внутренних пелен на готовых трубах. Известны три разновидности процесса: заполняющая, закрытая и сквозная прошивка. Последняя может выполняться с «подпором» прессующей системой, благодаря чему происходит пластический срез металла по поверхности, образующей отверстие, а усилие возрастает в 3 – 4 раза.

Такая особенность течения металла в процессе прессовой прошивки затрудняет совершенствование данного способа производства полых заготовок из слитков.

В связи с этим исследование и разработка новых процессов получения полых заготовок из слитков является весьма актуальной задачей.

В данной работе рассматривается возможность сквозной прошивки слитка полым пуансоном, комплексное теоретическое и экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния металла на различных стадиях процесса, разработка технологии и проектирование прошивного инструмента.

Анализ работ ученых показал, что образование отверстия в заготовке при внедрении прошивки происходит за счет радиального перемещения ее осевой зоны в стенки формируемой гильзы. Такой характер формоизменения заготовки способствует проникновению дефектных зон слитка в тело полых заготовок и образованию дефектов на ее внутренней поверхности, что в дальнейшем приводит к увеличению количества внутренних пелен в готовой трубе. Контроль пленообразования на внутренней поверхности полых заготовок крайне затруд-

нен, а сам процесс неуправляем и зависит в основном от качества исходной заготовки.

Для повышения качества труб ответственного назначения в ряде случаев у слитка перед прошивкой высверливается часть дефектной осевой зоны. Однако, для выполнения этой операции требуется дополнительное дорогостоящее оборудование, на котором к тому же возникают необратимые потери легированной стали.

Другой путь повышения качества трубной заготовки при прошивке слитков на прессах, заключается в совмещении процесса получения гильзы с удалением внутренних дефектных зон слитка при прошивке его полым пуансоном.

Основная цель работы состоит в оптимизации процесса прошивки для удаления зоны усадочной раковины в формируемую выдру при сквозной прошивке в гильзу. При этом должны быть оценены с помощью математического моделирования следующие параметры: размер отверстия в головке пуансона и его профиль (углы, радиусы закруглений, размеры калибрующих поясков). Это предполагается сделать с помощью программы Qform, имеющейся на кафедре АВТОПЛАСТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осадчий В. А., Копыский Б. Д., Бурнашев И. И. Экспериментальное исследование процесса трепанирования слитков на горизонтальном гидравлическом прессе. – В сб. Обработка металлов давлением./ Под редакцией В. Я. Осадчего. – М.: изд. ВЗМИ, 1979, с. 104-109.

2. Осадчий В. А., Бурнашев И. И., Каплунов Б. Г. Расчет пластического течения металла при горячей прессовой прошивке заготовки полым цилиндрическим пуансоном. – ИЗВ. ВУЗов Черная металлургия, 1981, №5, с. 72-75.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

Решитов К.Н., гр. 31-ЭО
Рук. Свидченко С.Ю.

Сверхпроводниковые технологии в настоящее время в мире вышли на тот уровень, на котором с их использованием возможно создание нового поколения электроэнергетического оборудования, существенно превосходящего оборудование традиционного исполнения.

За счёт более высокой эффективности, уменьшения в 2-3 раза массогабаритных показателей и соответственно материалоемкости и энергозатрат на изготовление. Повышения надёжности и срока службы оно будет удовлетворять

требованиям электроэнергетики XXI столетия. Широкое применение сверхпроводникового электротехнического оборудования вопрос будущего.

Однако уже сейчас отдельные виды сверхпроводникового оборудования могут значительно улучшить ситуацию в существующих энергосистемах и сетях, увеличив их устойчивость, надёжность и пропускную способность

ВТСП-трансформаторы по сравнению с традиционными обладают значительными техническими преимуществами.

- снижение потерь короткого замыкания при номинальном токе на 90%, что значительно увеличивает КПД трансформатора;

- уменьшение веса и габаритов трансформатора до 40%.

Следует отметить, что упомянутые достоинства позволяют применять ВТСП-трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструктивных изменений со значительным увеличением мощности. Облегчается и транспортировка трансформаторов;

- свойства ограничения токов КЗ, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;

- значительное уменьшение реактивного сопротивления, что позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;

- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;

- уменьшение уровня шума.

- по сравнению с масляными трансформаторами ВТСП-трансформатор пожаробезопасен и более экологичен.



Рис. 1. ВТСП-трансформатор мощностью 630 кВА.

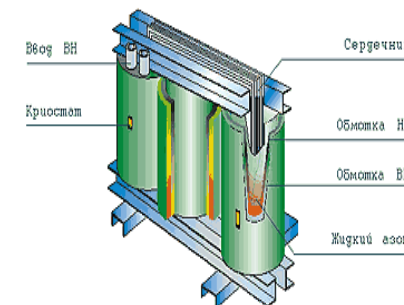


Рис. 2 Устройство ВТСП-трансформатора

В настоящее время реализуются три основных проекта по созданию ВТСП-трансформаторов: в Европе, США и Японии. Работа над ними началась примерно в одно и то же время, и в 1997 году все три были реализованы в опытных образцах.



Рис 3. ВТСП-трансформатор
мощностью 500 кВА

Первым стал трансформатор на напряжение 18,7/0,4 кВ мощностью 630 кВА (см. рис. 1) производства ABB при участии американской компании ASC (изготовителя ВТСП-ленты для обмоток) и французской электроэнергетической системы Electricite de France (EDF).

На его примере рассмотрим устройство ВТСП-трансформатора (рис. 2). Обмотки погружены в жидкий азот, служащий одновременно и изоляцией, и охлаждающей средой. Сердечник трансформатора работает при температуре окружающей среды, т.к. его охлаждение приведет только к лишним нагрузкам криогенной системы, а не к улучшенным характеристикам. Обмотки термически изолированы от сердечника и окружающей среды с помощью двустенных контейнеров (так называемых криостатов), выполненных из эпоксида, между стенками которых поддерживается вакуум, обеспечиваемый непрерывной работой насоса.

При проведении испытаний потери при номинальном токе составили 337 Вт, а потери холостого хода в сердечнике – 2,1 кВт. Общие тепловые потери равны примерно половине потерь в проводе. После успешных испытаний упомянутые компании подписали договор, по которому фирма ABB сделает трансформатор 10 МВА, а EDF установит его в своей сети для проведения полноценных испытаний. Дальнейшей целью ставится достижение мощности ВТСП-трансформатора 30 МВА, а конечной – 100 МВА.

Вторым был испытан трансформатор 500 кВА 6600/3300 В (см. рис. 3) производства Fuji Electric (Япония) с применением ВТСП-лент другой японской компании Sumitomo Electric Corporation. Потери в сердечнике составили 2,4 кВт, потери при номинальном токе – 115 Вт.

В результате в конце 2003 года был создан самый большой по мощности трансформатор 10 МВА 26,4/4,2 кВ полностью американского производства: Waukesha Electric (производитель трансформаторов), IGC Super Power (изгото-



Рис 4. ВТСП-трансформатор
мощностью 10 МВА

витель ВТСП-провода) и Energy East (электроэнергетическая компания, конечный потребитель). Но при испытаниях было обнаружено несколько недостатков. На сегодняшний день эти неполадки устранены, трансформатор установлен на испытательный стенд и новые испытания намечены уже в ближайшее время. Если испытания будут успешными, то этими фирмами было решено создать трансформатор 30 МВА 138/13,8 кВ.

Многие разработчики ВТСП-проводов и трансформаторов надеются, что в 2010 году, когда во многих странах мира начнет производиться активная замена электрооборудования, отработавшего свой срок службы, резко возрастет спрос именно на ВТСП-трансформаторы.

По магнитопроводу не решён вопрос какое его исполнение наиболее выгодно: «тёплое» (снаружи криостата) или «холодное» (внутри криостата). «Холодное» исполнение, с одной стороны, способствует упрощению конструкции криостата и уменьшению размеров магнитной системы, с другой стороны, вносит дополнительные теплопритоки, увеличивая энергозатраты на охлаждение. Снижения теплопритоков достигают использованием в качестве материала магнитопровода дорогостоящих аморфных сталей, имеющих очень низкие тепловыделения (0,2 Вт/кг при 1,4 Т и 100 К), или обычной холоднокатовой электротехнической стали с улучшенными характеристиками.

«Тёплое» исполнение магнитопровода приводит к более сложной конструкции криостата, выполняемого в виде полого цилиндра, что увеличивает размер магнитной системы, но вместе с тем уменьшает теплопритоки в холодную часть. При этом в качестве материала магнитопровода можно использовать сравнительно дешёвую тонколистовую рулонную электротехническую сталь (марок 3404, 3405, 3406), допускающую магнитную индукцию до 1,6-1,65 Т. Подобная конструкция более эффективна для однофазных трансформаторов. В трёхфазных трансформаторах аналогичного исполнения потребуются дополнительные токовводы для электрической связи.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СРЕДЕ MATLAB

Михайлов Д.М., гр. 31-ЭО
Рук. Свидченко С.Ю.

В современных условиях эффективный подход к компьютерной реализации научно-технических расчетов и, в частности, расчетов электрических цепей связан с применением универсальных вычислительных систем, таких как MATLAB, Mathcad и других. Они обладают развитыми средствами представления результатов вычислений и их использование не требует больших затрат времени на составление и отладку программ.

Процесс внедрения вычислительной техники прошел несколько этапов. В настоящее время завершается этап, ориентированный на использование «готовых» (Flow Data) программ предназначенных для решения конкретных задач. Такие программы требуют от студента лишь ввода исходных данных, после чего, нажав на ту или иную клавишу, он получает решение в виде таблиц и графиков. При этом алгоритм вычислений – используемые формулы и последовательность их применения, заданные разработчиком программы, – обычно остаются вне поля зрения пользователя.

На новом этапе, использования ПК при решении задач разумной сложности обучаемый становится непосредственным исполнителем компьютерных вычислений. Овладение основными приемами вычислительной системы MATLAB позволяет резко сократить затраты времени на такой рутинный элемент учебной работы как построение графиков по результатам вычислений и экспериментов.

Система MATLAB является одним из эффективнейших средств выполнения научно-технических расчетов, визуализации их результатов обработки данных эксперимента, их анализа и моделирования. Программы, составляемые для сравнительно несложных вычислений в среде MATLAB, компактны и являются продуктами «разового» пользования. Вместе с тем на основе принципа вложенности MATLAB можно создавать и большие программные комплексы, предназначенные для решения сложных прикладных задач.

Глубина использования MATLAB при решении отдельных задач различна. Иногда сами расчеты выполняются аналитически, а средства системы применяются только для построения графиков. В других задачах можно, по существу, говорить о полном решении средствами MATLAB – здесь и аналитические преобразования выполняются с помощью пакета символьных вычислений.

В состав пакета программ MATLAB входят библиотеки блоков ориентированных на моделирование конкретных устройств. В частности одна из них – SimPowerSystems – содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. В состав библиотеки входят модели пассивных и активных электротехнических элементов, источников энергии, электродвигателей, трансформаторов, ЛЭП и тому подобного оборудования. Имеется также раздел, содержащий блоки для моделирования устройств силовой электроники, включая системы управления для них.

В состав структуры MATLAB (версии 7.1) входит большое количество библиотек с готовыми блоками для моделирования различных процессов. Комбинируя возможности библиотек Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств. В частности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на переменном токе, выполнить расчет полного сопротивления участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а так же выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

Библиотека SimPowerSystems достаточно обширна. В том случае, если все же нужного блока в библиотеке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в библиотеке блоков, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной библиотеки Simulink и управляемых источников тока или напряжения.

Для иллюстрации возможностей MATLAB на рис.1 представлена схема, собранная из блоков, входящих в библиотеки Simulink и SimPowerSystem. Возможности визуализации Simulink позволяют на виртуальных приборах (Skin) проанализировать полученный результат (рис.2) и при необходимости изменить параметры (например L) схемы, быстро получив вид изменения (рис.3)

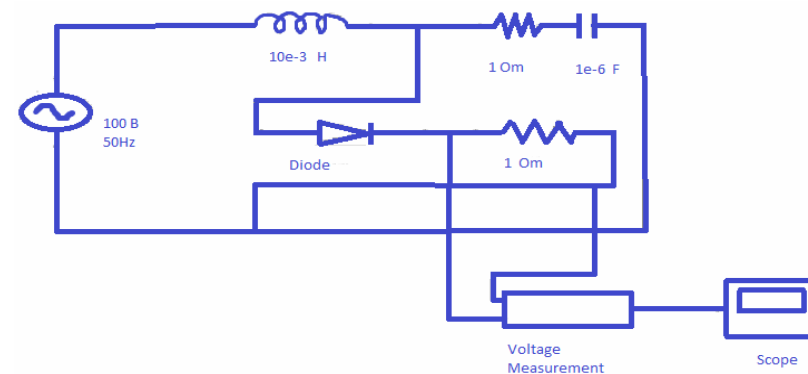


Рис. 1

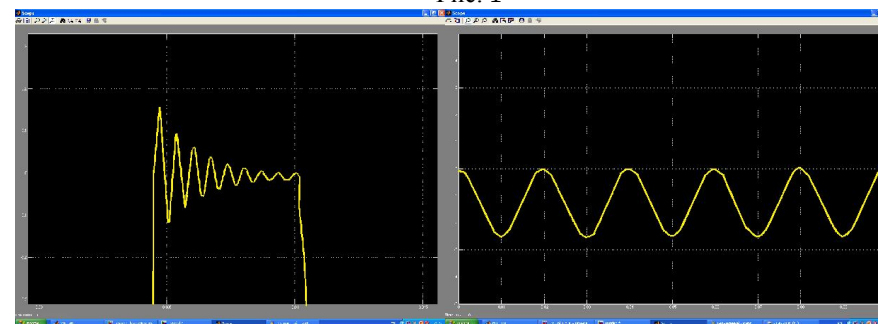


Рис. 2

Рис. 3

Таким образом MATLAB располагающий библиотеками SimPowerSystems и Simulink на настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств и систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черных И.В.: Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSistem и Simulink. – СПб.: Питер, 2008.- с.290
2. Новгородцев А.Б.: Расчет электрических цепей в MATLAB. – СПб.: Питер 2004.- с.257

УДК 621.311.2

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Голямин В.А., гр. Т-31
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.**

Постановка цели работы

Людам нужен свет. И если естественного освещения недостаточно, используют искусственное освещение. Для освещения производственных участков (кроме цехов), жилых и учебных помещений наиболее широко используют два вида ламп – лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Одной из основных электрических характеристик любой лампы является электрическая мощность. Мощность лампы непосредственно характеризует её энергетическую эффективность, а косвенно может служить для оценки световой эффективности лампы. Предприятия – изготовители ламп устанавливают и контролируют электрическую мощность *новых* ламп, но не предоставляют информации о том, каким образом мощность лампы изменяется во времени.

Изменение мощности лампы во времени является достаточно важной электрической характеристикой. С её помощью можно не только оценить энергетическую эффективность лампы после длительной эксплуатации, но и сделать предположение о фактической световой эффективности лампы. Вместе с тем, государственные стандарты на источники света не устанавливают допустимые значения мощности ламп после их длительной эксплуатации. Они лишь содержат сведения о среднем сроке службы источников света, который, в частности, для ламп накаливания составляет один год. Поэтому задача исследования мощности актуальна.

В Карачевском филиале Орловского государственного технического университета с 2005 года проводятся исследования эффективности мероприятий по сбережению электрической энергии. В период с 2005 по 2009 годы было выяснено, что после длительной эксплуатации мощность ламп уменьшается. Например, мощность ламп накаливания за один год эксплуатации (около 2000

часов непрерывной работы) уменьшается на 2,5...3,5 %. Мощность люминесцентных «энергосберегающих» ламп в аналогичных условиях уменьшается на 10...15 % [1]. Однако в настоящее время самыми перспективными источниками света являются полупроводниковые или «светодиодные лампы», динамика мощности которых изучена не была. *Целью данной работы* является изучение характера изменения во времени электрической мощности светодиодных ламп.

Характеристика светодиодных ламп и результаты исследований

Светодиодные лампы представляют собой наиболее перспективный тип источников света. Они значительно менее энергоёмкие по сравнению с лампами накаливания, экологически безопасны по сравнению с люминесцентными лампами (не содержат ртути) и, по заявлениям изготовителей, имеют огромный ресурс – более 50000 часов (то есть их срок службы составляет около 15 лет). Недостатками светодиодных ламп в настоящее время являются: «непривычный» для человека цвет света, односторонняя направленность света, высокая стоимость.

В России одним из предприятий, осуществляющих серийное производство светодиодных ламп, является ЗАО «Протон-Импульс» (город Орёл). Производимые заводом лампы получили наименование «Лампа осветительная полупроводниковая» ЛПО-17. *Технические характеристики* лампы ЛПО-17 следующие:

- 1) цвет света – белый тёплый;
- 2) ресурс – более 50000 часов;
- 3) потребляемая мощность – 10 Вт;
- 4) сетевое напряжение – 220 В, 50 Гц;
- 5) габаритные размеры: диаметр светодиодной матрицы – 78,5 мм, длина надцокольной части – 50 мм, общая длина лампы – не более 85 мм.

Изготовитель гарантирует также абсолютную экологическую безопасность лампы, отсутствие эксплуатационных затрат и мгновенной включения (по сравнению с люминесцентными «энергосберегающими» лампами, у которых освещённость достигает установившегося значения через несколько минут после включения в электрическую сеть). Цена лампы ЛПО-17 пока достаточно высока.

Для исследования характера изменения мощности ламп ЛПО-17 во времени были использованы две лампы данного типа. Лампа №1 подвергалась эксплуатации в жилом доме в течение шести месяцев (наработка около 1000 часов), лампа №2 в течение этого времени хранилась. По истечении срока эксплуатации были выполнены измерения мощности обеих ламп по изложенной ниже методике.

В основу методики выполнения измерений был заложен *косвенный метод измерения мощности ламп*. Особенность метода заключалась в том, что мощность ламп определялась расчётным путём из зависимости, связывающей постоянную счётчика электроэнергии с временем одного полного оборота диска счётчика.

Постоянная счётчика k была определена из расчёта, что 1 кВт·ч электроэнергии соответствует 1250 оборотам диска. Отсюда одному обороту диска соответствует электроэнергия $W = 0,8$ Вт·ч. Зная постоянную счётчика k и время t , за которое диск делает один полный оборот, можно вычислить мощность приёмника электроэнергии (лампы) по следующей формуле:

$$P = W/t. \quad (1)$$

Методика выполнения измерений мощности заключалась в последовательном включении исследуемых ламп при выключенных других приёмниках электроэнергии и измерении времени, за которое диск счётчика делал один полный оборот. После этого по формуле (1) проводились вычисления мощности исследуемой лампы, значение которой заносилось в таблицу 1. Измерительным оборудованием служил счётчик электроэнергии однофазный, тип СО-5 ГОСТ 6570-60 и секундомер. Достоинством принятого метода измерений мощности являлось использование *поверенного и опломбированного* средства измерений.

Результаты измерений мощности светодиодных ламп сведены в таблицу 1. График изменения мощности ламп во времени показан на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты измерений мощности светодиодных ламп

Электрическая характеристика	Значение электрической характеристики		
	Номинальное значение	Лампа №1 (бывшая в употреблении)	Лампа №2 (новая)
Мощность, Вт	10	16,88	8,57

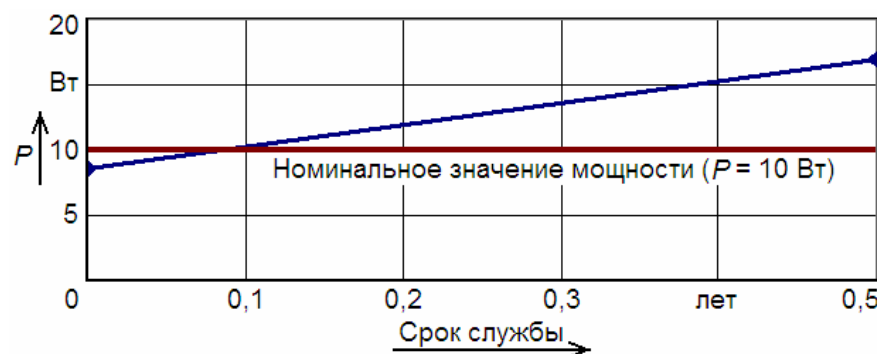


Рисунок 1 – График изменения мощности ламп во времени

Анализ данных таблицы 1 показывает, что мощность светодиодной лампы после эксплуатации в течение полугода (около 1000 часов) *увеличилась* почти в два раза. Назначенный предприятием – изготовителем ресурс светодиодной лампы в 50 раз больше этого срока, поэтому достаточно сложно прогнозировать значение мощности светодиодной лампы к его окончанию. При этом за

полгода эксплуатации *все* светодиоды в матрице лампы №1 сохранили работоспособность.

Обсуждение результатов. Если считать основными характеристиками ламп мощность и экологическую безопасность, то главным конкурентом светодиодных ламп являются лампы накаливания. Известно, что лампы накаливания имеют мощность, в несколько раз превышающую мощность светодиодной лампы, однако у них есть существенное преимущество – источник света (вольфрамовая спираль) выполнен из металла, то есть, из материала со стабильными характеристиками, что подтверждается результатами измерения мощности [1]. В светодиодных лампах источником света служит полупроводниковый кристалл, а, как известно, полупроводники имеют достаточно нестабильные характеристики, усталостные свойства, эффект старения (деградации параметров). Поэтому характер изменения реальной электрической мощности светодиодных ламп после их длительной эксплуатации требует тщательного исследования на протяжении нескольких лет.

ЛИТЕРАТУРА

1 Марков, В.В. Результаты исследования мощности ламп накаливания и энергосберегающих ламп после их длительной эксплуатации [Текст] / В.В. Марков, А.Н. Шаменков // Матер. V междунар. науч.-практ. интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XIX век». – Орёл: ОрелГТУ, 2007.

УДК 621.311.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛАМПАМИ

Донской Д.Н., гр. Т-31
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Общие сведения и нормы освещённости. Независимо от типа ламп и светильников, все они используются для обеспечения человеку зрительного комфорта в помещениях. Обычно достаточность искусственного освещения помещений оценивают по значению физической величины, называемой освещённостью.

Освещённость – это физическая величина, численно равная световому потоку, падающему от источника света на единицу площади помещения. Общепринятой единицей измерения освещённости служит «люкс» (сокращённое обозначение – лк), под которой понимается освещённость поверхности площа-

дью 1 м² при световом потоке падающего на неё излучения, равном 1 лм (люмен) [1].

В нашей стране освещённость жилых помещений нормируется строительными нормами и правилами (СНиП 23-05-95), устанавливающими её допустимые значения для разнообразных видов и условий деятельности. Любопытно, что этот нормативный документ содержит положение о том, что «Для освещения помещений следует предусматривать люминесцентные лампы. При невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения люминесцентных ламп и для обеспечения архитектурно-художественных требований допускается использовать лампы накаливания» [2]. Нормы освещённости жилых помещений при искусственном освещении, предусмотренные СНиП 23-05-95, даны в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы искусственного освещения жилых помещений [2]

Требования к освещению	Характеристика зрительной работы	Минимальная освещённость, лк
Обеспечение зрительного комфорта в помещениях при выполнении точных зрительных работ	кабинеты, рабочие комнаты, места для чтения или работы за компьютером	150 – 300
Обеспечение зрительного и эмоционального комфорта в помещениях жилых зданий	жилые комнаты, комнаты с телевизором, комнаты отдыха, кухни	100
	прихожие, ванные комнаты	50
	лестничные клетки, вестибюли	100

Исследования освещённости помещений лампами накаливания и люминесцентными «энергосберегающими» лампами, проведённые в Карачевском филиале Орловского государственного технического университета, показали, что начальные значения освещённости жилых помещений, создаваемой всеми изученными лампами, соответствуют строительным нормам и правилам [3]. Целью этой работы являются исследования освещённости помещений светодиодными лампами.

Методика эксперимента и обсуждение результатов. Измерение освещённости было проведено в жилом помещении с высотой потолка 3,5 м и площадью 16 м². Объектом измерения служила светодиодная лампа с полным наименованием «Лампа осветительная полупроводниковая» ЛПО-17 (предприятие – изготовитель – ЗАО «Протон-Импульс», город Орёл). Задачами исследований стали:

- 1) определение освещённости, создаваемой новой светодиодной лампой;
- 2) определение освещённости, создаваемой лампой после полугода службы;
- 3) изучение влияния на освещённость конструкции «колпака» лампы.

Примечание: конструкция светодиодной лампы ЛПО-17 включает в себя съёмный «колпак» из полимерного материала, защищающий светодиодную матрицу от внешних воздействий. Данный элемент конструкции лампы может быть прозрачным или матовым, в зависимости от типа светодиодной лампы.

В качестве измерительного прибора использовался люксметр Ю-116, предварительно откалиброванный в Центре коллективного пользования измерительным и испытательным оборудованием Орловского государственного технического университета. Результаты измерения освещённости (освещённость измерялась люксметром на расстоянии 700 мм от поверхности лампы) даны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений освещённости помещения (норма – 300 Лк [2])

Освещённость, Лк	Новая лампа (белая тёплая)	Лампа после полугода службы (цвет света – белый холодный)
Без «колпака»	440	600
В прозрачном «колпаке»	400	510
В матовом «колпаке»	330	340

По результатам, приведённым в таблице 2, сделаны следующие *выводы*.

На освещённость помещения светодиодными лампами существенное влияние оказывает цвет света, излучаемого лампой, и тип «колпака». Наибольшую освещённость (а значит, и КПД) обеспечивает лампа «белого холодного» света. Защитный «колпак» значительно уменьшает световую эффективность лампы: прозрачный – на 15 %, а матовый – на 40 %. Излучение обеих ламп направленное, поэтому освещённость в стороне от направления лучей резко уменьшается. Представляет интерес характер изменения освещённости во времени и распределение освещённости по площади помещения, поэтому исследования надо продолжать.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бурдун, Г.Д. Основы метрологии [Текст] / Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков; под ред. Г.Д. Бурдуна. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 335 с.
- 2 Строительные нормы и правила [Текст] – СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Издательство стандартов, 1995.
- 3 Прохоров, А.В. Результаты измерений освещённости жилых помещений энергосберегающими люминесцентными лампами [Текст] / А.В. Прохоров, В.В. Марков // Матер. 9-й научно-практической конф. «Интеллект и наука». г. Железнодорожск Красноярского края. 19 апреля 2009 г. – Железнодорожск.: Железнодорожский филиал Сибирского федерального университета, 2009.

УДК 621.311.2

ИЗМЕНЕНИЕ СВОТОВЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Прохоров А.В., гр. Т-31
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Светотехнические характеристики источников света. Основной физической величиной, принятой в светотехнике, является *сила света* J , единицей которой служит *кандела* (кд) [1]. Производными светотехническими величинами, используемыми для описания эффективности источников света, являются:

1) *световой поток* Φ . Единицей измерения светового потока Φ служит *люмен* (лм) – световой поток, испускаемый точечным источником силой света, равной $J = 1$ кд в телесном угле, равном $\Omega = 1$ ср (стерадиан) [1];

2) *освещённость* E . Единицей освещённости служит *люкс* (лк) – освещённость поверхности площадью $S = 1$ м² при световом потоке падающего на него излучения, равном $\Phi = 1$ лм [1].

Между освещённостью и световым потоком существует зависимость:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (1)$$

где Φ – световой поток, лм;

S – площадь освещаемой поверхности, м².

Для оценки световой эффективности источников света в инженерных расчётах принято использовать *освещённость*. Для измерения освещённости применяются специальные приборы – люксометры. В нашей стране освещённость жилых помещений нормируется строительными нормами и правилами (СНиП 23-05-95), устанавливающими её допустимые значения для разнообразных видов и условий деятельности. Любопытно, что этот нормативный документ содержит положение о том, что «Для освещения помещений следует предусматривать люминесцентные лампы. При невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения люминесцентных ламп и для обеспечения архитектурно – художественных требований допускается использовать лампы накаливания» [2]. Нормы освещённости жилых помещений при искусственном освещении, предусмотренные СНиП 23-05-95, даны в таблице 1.

Цель исследования. В 2009 году в Карачевском филиале Орловского государственного технического университета были проведены измерения освещённости помещений лампами накаливания и «энергосберегающими» люминесцентными лампами. Результаты измерений приведены в таблице 2. Опытным путём было доказано, что начальные значения освещённости жилых помеще-

ний, создаваемой всеми изученными лампами, соответствуют строительным нормам и правилам.

Также исследования показали, что электрическая мощность ламп после длительной эксплуатации уменьшается, причём для ламп накаливания – на 2,5...3 %, а для «энергосберегающих» люминесцентных ламп – на 10...15 %. Возник естественный вопрос – не изменяется ли создаваемая лампами освещённость после их длительной эксплуатации? Решение данной задачи стало *целью работы*.

Таблица 1 – Нормы искусственного освещения жилых помещений [2]

Требования к освещению	Характеристика зрительной работы	Минимальная освещённость, лк
Обеспечение зрительного комфорта в помещениях при выполнении точных зрительных работ	кабинеты, рабочие комнаты, места для чтения или работы за компьютером	150 – 300
Обеспечение зрительного и эмоционального комфорта в помещениях жилых зданий	жилые комнаты, комнаты с телевизором, комнаты отдыха, кухни	100
	прихожие, ванные комнаты	50
	лестничные клетки, вестибюли	100

Описание эксперимента и обсуждение результатов. Измерение освещённости было проведено в жилых помещениях всех типов, указанных в таблице 1. В качестве измерительного прибора использовался люксметр типа Ю 116 отечественного производства с классом точности $\delta = 10$ % (предел нормированной относительной погрешности). Люксметр предварительно был откалиброван в Центре коллективного пользования измерительным и испытательным оборудованием Орловского государственного технического университета. Объектами исследований являлись лампы накаливания и люминесцентные «энергосберегающие» лампы, предназначенные для общего и местного освещения. Результаты измерений освещённости, создаваемой всеми исследованными лампами, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики ламп и результаты измерений

Марка лампы	Мощность, Вт	Цвет света	Тип освещения	Освещённость, лк		Срок службы лампы
				2009 год	2010 год	
Дневное естественное освещение у окна (пасмурно)				650		
Естественное освещение (прямой солнечный свет)				5200		

Ночное естественное освещение				0		
Кабинеты и рабочие комнаты (допустимое значение – 150...300 лк)						
1 Лампа Electro stan- dard	28	жёл- тый	общее	460	420	1 год
2 Лампа накаливания	60	жёл- тый	общее	580	585	6 лет
3 Лампа El. Lighting	7	жёл- тый	местное	630	620	4 года
Жилые комнаты, комнаты с телевизором, кухни (допустимое значение – 100 лк)						
4 Лампа МК-4В	11	жёл- тая	общее	220	230	3 года
5 Лампа ESB-14	15	жёл- тая	общее	270	200	4 года
Прихожие (допустимое значение – 50 лк)						
6 Лампа накаливания	60	жёл- тый	общее	430	440	15 лет

Для каждой из исследованных ламп по формуле (1) было подсчитано значение светового потока Φ и определено его относительное изменение за один год службы лампы. Результаты расчёта светового потока приведены в таблице 3. Относительное изменение светового потока ламп δ_Φ определялось в процентном отношении по следующей формуле:

$$\delta_\Phi = \frac{\Phi_{2009} - \Phi_{2010}}{\Phi_{2009}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где Φ_{2009} и Φ_{2010} – световой поток лампы, соответственно для 2009 и 2010 года.

Таблица 3 – Относительное изменение светового потока ламп

Номер лампы в таблице 2	1	2	3	4	5	6
Значение δ_Φ , %	-8,7	0,9	-1,5	4,5	-25,9	2,3

На рисунках 1 и 2 показаны диаграммы изменения светотехнических характеристик (освещённости и светового потока) всех исследованных ламп до и после длительной эксплуатации.



Рисунок 1 – Диаграмма изменения освещённости, создаваемой лампами в 2009 и 2010 гг.

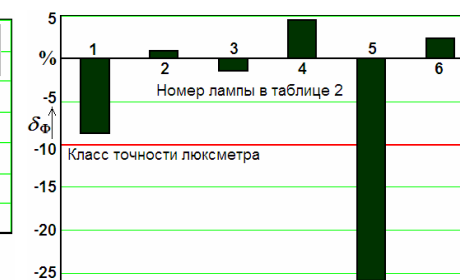


Рисунок 2 – Диаграмма относительного изменения светового потока, создаваемого лампами в 2009 и 2010 гг.

Данные таблиц 2 и 3, а также диаграммы, показанные на рисунках 1 и 2, позволяют сделать следующие *выводы*. Люминесцентные «энергосберегающие» лампы имеют менее стабильные светотехнические характеристики, чем лампы накаливания. Освещённость, создаваемая энергосберегающими лампами, существенно уменьшается при их длительной эксплуатации. Особенно значительное ухудшение освещённости характерно для ламп, срок эксплуатации которых приближается к окончанию. Это явление позволяет прогнозировать отказ лампы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бурдун, Г.Д. Основы метрологии [Текст] / Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков; под ред. Г.Д. Бурдуна. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 335 с.
- Строительные нормы и правила [Текст] – СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Издательство стандартов, 1995.

УДК 621.01(075)

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Нехаев Р.А., гр. Т-21
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Преимущество электрофизические методов обработки изделий по сравнению с известными механическими методами заключается в том, что твёрдость режущего инструмента не должна опережать твёрдость материала обра-

батываемой детали. Режущим инструментом для электрофизической, в частности, электроэрозионной обработки, служат электроды, изготовленные из относительно дешёвых и легко обрабатываемых материалов (например, медные или графитовые фасонные электроды, тонкая латунная или вольфрамовая проволока). Это преимущество актуально в инструментальном производстве. Например, при изготовлении некоторых типов штампов механическими методами стоимость режущего инструмента составляет более 50 % технологической себестоимости обработки. При обработке этих же штампов электроэрозионными методами стоимость инструмента не превышает 3,5 %.

Электроэрозионные технологии особенно эффективны в инструментальном производстве, которое необходимо на любом крупном машиностроительном или приборостроительном предприятии. Это связано с тем, что для серийного изготовления технических систем необходима специальная технологическая оснастка: штампы, пресс-формы, литейные формы для точного литья, специализированный инструмент. Изготовление специальной оснастки, режущего или контрольно-измерительного инструмента на металлорежущем технологическом оборудовании чрезвычайно трудоёмко, а также сопряжено с необходимостью использования дорогостоящих ручных слесарно-доводочных работ. Использование электроэрозионных технологий позволяет исключить из технологического процесса множество механических и ручных слесарных операций: фрезерование, сверление, координатную расточку, протягивание, координатное шлифование, разметку, опилку, шабрение, шлифование, полирование, доводку и др. Кроме того, электроэрозионная обработка выполняется при высокой степени автоматизации [1].

Технологические возможности электроэрозионной обработки, такие, как точность и качество обработанных поверхностей, во многих случаях превосходят возможности методов механической обработки. При обработке поверхностей сложных деталей электроэрозионными методами относительно несложно получить поверхности точностью до ± 1 мкм, шероховатостью $Ra = 0,02 \dots 0,08$ мкм и с повышенной твёрдостью поверхностного слоя [1]. В ряде случаев электроэрозионными методами можно изготовить изделия, которые практически невозможно получить другими технологиями, например, сложные детали пресс-форм.

В общем случае использование одной электроэрозионной технологической операции (например, проволочно-вырезной) при изготовлении штампов заменяет до 13 механических и слесарных операций. Существует возможность снижения:

- 1) стоимости технологической оснастки – в 10 раз;
- 2) трудоёмкости изделия – в 15 раз;
- 3) энергоёмкости изделия – в 7 раз;
- 4) количества рабочих мест – в 6...7 раз;
- 5) затрат на режущий инструмент – в 14 раз.

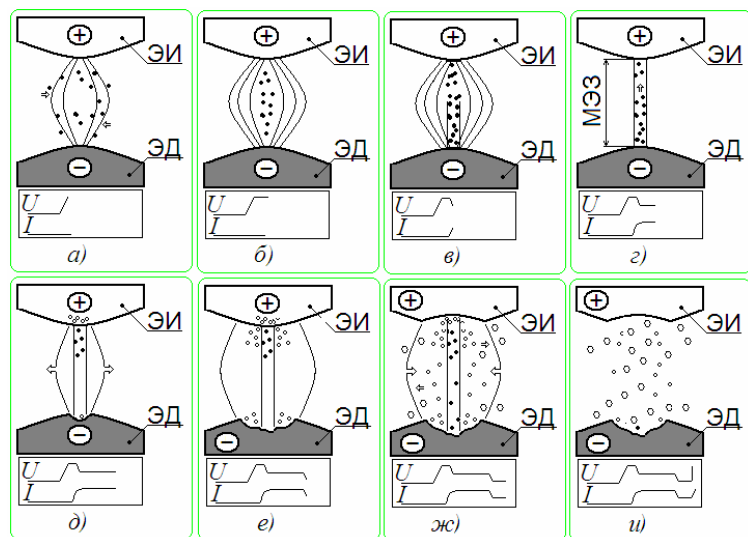
Снятие материала с поверхности обрабатываемой детали при электроэрозионной обработке осуществляется импульсами тока, которые формируются

специальным генератором. Потенциальная энергия импульса образуется за счёт напряжения, приложенного к электродам деталь-инструмент, размещённых в рабочей жидкости (например, в керосине). Между электродами всегда присутствует межэлектродный зазор. Потенциальная энергия импульса накапливается в конденсаторе, который периодически разряжается, образуя электрический искровой или дуговой разряд между инструментом и деталью, как показано на рисунке 1.

Параметры искрового или дугового электрического разряда задаются приложенным напряжением, длительностью импульса, межэлектродным зазором и состоянием рабочей жидкости. Под действием напряжения, приложенного к электродам, на поверхности инструмента накапливается электрический заряд (рисунок 1, а и б). Под действием заряда в зазоре между инструментом и деталью образуется стример – электропроводный канал (рисунок 1, в), появление которого определяет начало образования сквозной проводимости в зазоре между электродами. Частицы рабочей жидкости ионизируются под действием внешнего напряжения и устремляются от поверхности детали в сторону инструмента (рисунок 1, г). Происходит формирование канала сквозной электропроводности, создаётся электрическое поле, обеспечивающее возможность прохождения разряда по наименьшему расстоянию между поверхностями инструмента и детали. Как только стример достигнет поверхности обрабатываемой детали и, соответственно, завершится формирование электропроводного канала, накопленный конденсатором заряд разрядится на поверхности детали (рисунок 1, д). Под действием энергии электрического разряда произойдёт вырывание частиц материала с поверхности обрабатываемой детали в области, охватываемой стримером (рисунок 1, е).

В результате работы импульса тока энергия импульса, локально приложенная к поверхности детали, приводит к нагреву участка поверхности материала до температуры, превосходящей температуру его плавления. В области стримера происходит расплавление металла, и под действием электродинамических сил капля расплавленного металла выбрасывается в пространство межэлектродного зазора (рисунок 1, ж). Поток рабочей жидкости удаляет из зазора образовавшийся шлак (застывшие частицы металла обрабатываемой детали).

В процессе вырывания частиц металла и термодинамических явлений образуется атомарный спектр всех веществ, участвующих в процессе электроэрозионной обработки (рабочая жидкость, инструмент и деталь). На поверхности детали появляется лунка, форма которой соответствует конфигурации инструмента и направлению его движения (рисунок 1, и).



ЭИ – электрод-инструмент; ЭД – электрод-деталь; МЭЗ – межэлектродный зазор

Рисунок 1 – Схема, поясняющая принцип электроэрозионной обработки изделий

После окончания импульса напряжение между электродами отсутствует, и происходит деионизация рабочей жидкости. Последующий импульс напряжения вновь ионизирует жидкость и создаёт предпосылки для следующего электрического разряда, под действием которого лунка на поверхности обрабатываемой детали увеличивается до заданных размеров [1].

Многочисленными исследованиями установлено, что наибольшая производительность при электроэрозионной обработке достигается при поддержании оптимального значения межэлектродного зазора, что определяется качеством управления приводом электроэрозионного станка и надёжностью системы его программного управления [2, 3].

Таким образом, использование электроэрозионных технологий и электроэрозионного технологического оборудования является перспективным направлением развития отечественного инструментального производства в машиностроении и приборостроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебrenицкий, П.П. Общетеxнический справочник [Текст] / П.П. Серебrenицкий. – СПб.: Политехника, 2004. – 445 с.

2. Лазаренко, Б.Р. Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении [Текст] / Б.Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 178 с.

3. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки [Текст] / Г.Л. Амитан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон [и др.]; под общ. ред. В.А. Волосатова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 719 с.

УДК 621.01(075)

ОБЗОР МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Карташов Л.В., гр. Т-21
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Электроэрозионные технологии особенно эффективны в инструментальном производстве, которое необходимо на любом крупном машиностроительном или приборостроительном предприятии. Это связано с тем, что для серийного изготовления технических систем необходима специальная технологическая оснастка: штампы, пресс-формы, литейные формы для точного литья, специализированный инструмент. Изготовление специальной оснастки, режущего или контрольно-измерительного инструмента на металлорежущем технологическом оборудовании чрезвычайно трудоёмко, а также сопряжено с необходимостью использования дорогостоящих ручных слесарно-доводочных работ.

Для выполнения операций электроэрозионной обработки используют электроэрозионные станки разнообразного функционального назначения. *Первый в мире электроэрозионный станок* был создан в Советском Союзе в 1943 году. Первоначально он использовался для удаления обломков инструмента, сломавшегося в детали. С тех пор в нашей стране и за рубежом выпущено большое количество разнообразных по принципу действия, назначению, производительности и конструкциям видов электроэрозионных станков [1-4].

По назначению различают следующие виды электроэрозионных станков [1]:

1) *копировально-прошивочные станки* (инструментом служит объёмный профильный электрод, выполненный из меди или графита, а форма обработанной поверхности повторяет форму поверхности инструмента);

2) *координатно-прошивочные станки* (инструмент может совершать сложное перемещение, поэтому форма детали задаётся управляющей программой);

3) координатно-прошивочные станки с линейными двигателями (модификация координатно-прошивочных станков, обеспечивающая наиболее высокую точность обработки поверхностей деталей);

4) проволочно-вырезные станки (инструмент – латунная или вольфрамовая проволока диаметром 0,03...0,25 мм, протягиваемая по контуру заготовки);

5) проволочно-вырезные станки с линейными двигателями (модификация проволочно-вырезных станков, дающие наиболее высокую точность обработки);

6) специализированные электроэрозионные станки «Супердрель» (сущность принципа действия заключается в электроэрозионной прошивке глубоких отверстий, при которой инструментом служат латунные трубки диаметром от 0,08 до 6,0 мм; в процессе обработки через электрод-трубку под давлением прокачивается рабочая жидкость – негорючий диэлектрик, керосин или другая углеводородная жидкость). «Супердрели» позволяют получать отверстия значительно быстрее, чем механическими методами, а также получать сложные отверстия, которые получить другими методами практически невозможно, например, отверстия в твёрдых металлах и сплавах с отношением глубины к диаметру до 200:1 и более.

По области применения электроэрозионные станки подразделяются на универсальные, специализированные и специальные; по требуемой точности обработки – на станки общего назначения, повышенной точности и прецизионные (особо высокой точности обработки) [4].

Производством электроэрозионного технологического оборудования занимаются промышленные предприятия разных стран мира. Наиболее обширный рынок электроэрозионных станков находится в Японии, так как в настоящее время в этой стране сосредоточено около половины всего мирового производства пресс-форм и штампов [1]. Поэтому около половины всех электроэрозионных станков выпускают японские предприятия, такие, как «Mitsubishi», «Fanus», «Makino», «Seibu», «Hitachi», «Sodick» (последнее предприятие – особенно крупный производитель электроэрозионного оборудования). В Азии наращивают собственное производство электроэрозионного оборудования предприятия Тайваня, Южной Кореи, Индии. Заводы по производству электроэрозионных станков известных мировых фирм развиваются в Таиланде, Малайзии, Китае. В Европе наиболее известны такие предприятия, как Agie и Charmilles Technologies – группа в концерне George Fisher (Швейцария), Herbert Walter, Ingersoll и Elotherm (Германия), Ona (Испания). Имеются производители электроэрозионных станков в Великобритании, США и других странах Европы и Америки.

В России электроэрозионное оборудование выпускают предприятия:

1) Троицкий станкостроительный завод (Челябинская область, г. Троицк);

2) Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения (город Санкт-Петербург);

3) завод «Станкоиндустрия» (город Москва);

4) научно-производственная корпорация «Дельта-тест» (Московская область, город Фрязино).

Использование электроэрозионных технологий и электроэрозионного технологического оборудования – перспективное направление развития отечественного инструментального производства в машиностроении и приборостроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебrenицкий, П.П. Общетехнический справочник [Текст] / П.П. Серебrenицкий. – СПб.: Политехника, 2004. – 445 с.
2. Лазаренко, Б.Р. Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении [Текст] / Б.Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 178 с.
3. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки [Текст] / Г.Л. Амитан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон [и др.]; под общ. ред. В.А. Волосатова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 719 с.
4. Кнорозов, Б.В. Технология металлов [Текст] / В.Б. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяков, И.А. Арутюнова, С.П. Шабашов, В.К. Ефремов. – М.: Металлургия, 1974. – 648 с.

УДК 621.01(075)

СОЗДАНИЕ, РАЗВИТИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАЗЕРОВ

Федотов Д.Е., гр. Т-21
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

История создания лазеров

Слово «лазер» составлено из начальных букв в английском словосочетании «LASER» – «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что в переводе на русский язык означает: «Усиление света посредством вынужденного испускания» [1]. История открытий и изобретений в области лазерного излучения содержит несколько памятных дат. Впервые в истории человечества возможность получения стимулированного излучения (первоначальное название лазерного излучения) предсказал Альберт Эйнштейн в 1916 году. В 1940 году советский учёный В.А. Фабрикант сформулировал условия получения стимулированного излучения, а в 1952 году он, совместно с Ф.А. Бутаевой и М.М. Вудинским провёл лабораторный эксперимент с использованием неравновес-

ной среды и получил усиление оптического излучения. В период с 1959 по 1960 годы в Советском Союзе были созданы первые рубиновые и газовые лазеры. В 1959 году академиком Н.Г. Басов и А.М. Прохоров была присуждена Ленинская премия за создание и разработку нового метода генерации и усиления оптического излучения, а в 1964 году они, совместно с американским учёным Чарльзом Таунсом были удостоены Нобелевской премии по физике за разработку и внедрение квантовой электроники. В период с 1970 по 1972 годы отечественная промышленность освоила выпуск первых серийно выпускаемых твёрдотельных, газовых и полупроводниковых лазеров. В 1971 году член-корреспондент Академии наук СССР Ю.Н. Денисюк был удостоен Ленинской премии за развитие голографии с записью в трёхмерной среде. В период с 1973 по 1976 годы в нашей стране были созданы первые серийно выпускаемые контрольно-измерительные приборы на основе лазерного излучения – лазерные дальномеры. Начиная с 1977 года, лазерные технологии начали активно и успешно внедряться в машиностроении, приборостроении, строительстве, геодезии, медицине, химии и в других отраслях народного хозяйства.

За рубежом лазерная техника также интенсивно развивается. В США первый лазер был создан в 1961 году, а в 1962 года американская фирма «Спектра физикс» наладила серийное производство промышленных лазерных установок. В настоящее время лазерная техника имеет множество типов и модификаций. Самый миниатюрный лазер имеет длину несколько микрометров. Наиболее крупная лазерная установка «Нова» изготовлена в национальной лаборатории Лоуренса Ливермора в США; её длина составляет 137 метров, а суммарная мощность излучения – 1014 Вт. Самый мощный лазер Европы «Астерикс» базируется в институте Макса Планка; мощность его излучения составляет 1012 Вт.

Области применения лазеров и лазерной техники еще более многочисленны, чем разнообразие их конструкций. Всего насчитывается несколько сотен областей использования лазеров на практике. Наиболее массовой областью использования лазерной техники является в настоящее время светолучевая размерная обработка материалов, основанная на тепловом воздействии лазерного излучения на поверхность обрабатываемого изделия. Применение лазерной техники в машиностроении и приборостроении выводит производство на новый высокоинтеллектуальный уровень, на уровень технологий будущего столетия.

Технические возможности промышленных лазеров

В машиностроении и приборостроении используются лазеры непрерывного действия с повышенной мощностью оптического излучения, например, газовые (CO₂) и твёрдотельные (алюминий-итриевый) лазеры [1]. Примеры серийно выпускаемых отечественных лазерных установок показаны на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Лазерная технологическая система «Искар-500» на основе газового лазера, предназначенная для резки материалов толщиной до 5 мм (конструкционная сталь)



Рисунок 2 – Лазерная технологическая система «Опал-50» на основе твёрдотельного лазера, предназначенная для гравировки материалов

Любая лазерная система, предназначенная для размерной обработки материалов, характеризуется следующими параметрами: скоростью обработки (реза, гравировки и т.п.); разрешающей способностью; точностью обработки; размером рабочего поля; диапазоном материалов обработки (чёрные металлы, цветные металлы, дерево, пластмасса и т.д.); диапазоном размеров и массы изделий, предназначенных для обработки; конфигурацией изделий (например, гравировка на плоской, цилиндрической, волнообразной поверхностях); необходимым временем изменения выполняемых задач (смена рисунка гравировки, конфигурации линии реза, изменение материала обработки и т.п.); временем установки и позиционирования изделия; параметрами условий окружающей среды (диапазон температур, влажность, запылённость) в которых может эксплуатироваться система; требованиями к квалификации обслуживающего персонала. Исходя из этих параметров, выбирается тип лазера, устройство развертки луча, разрабатывается конструкция крепежа изделия, уровень автоматизации системы в целом, решается вопрос о необходимости написания специализированных программ для подготовки файлов рисунков, линий резания и другие показатели.

С появлением мощных (с мощностью оптического излучения от 500 Вт и выше) лазеров область использования светолучевых методов обработки изделий существенно расширилась от микроэлектроники и приборостроения до многих энергоёмких и материалоемких отраслей промышленности, таких как машиностроение, электротехническая промышленность, металлургия и т.д. Этому способствовали уникальные свойства лазерного излучения. Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящие другие источники энергии (до 108-109 Вт/см² в непрерывном режиме и до 1016-1017 Вт/см² в импульсном режиме), позволяют не только увеличить производитель-

ность обработки, но и получать новые результаты по свойствам обрабатываемых материалов.

Лазерный луч как источник нагрева при термообработке материалов имеет особенности, среди которых можно отметить высокую концентрацию энергии, подводимой к поверхности материала, и «технологичность» лазерного луча [2].

Высокая концентрация подводимой энергии и локальность её зоны действия позволяет произвести обработку только заданного участка поверхности без нагрева остального объема, что приводит к минимальному короблению деталей. В результате достигаются экономические и технологические преимущества. Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия. В результате открывается возможность получения уникальной структуры и свойств обработанной поверхности.

Высокая «технологичность» лазерного луча, под которой понимается возможность регулирования параметров обработки в широком интервале режимов, легкость автоматизации процесса, возможность обработки на открытом воздухе, исключение механической обработки изделий, отсутствие вредных отходов, возможность транспортировки излучения.

Теория и практика лазерной обработки материалов подтверждает огромные возможности лазерных технологий, которые позволяют эффективно решать крупные производственные задачи. Применение лазерной техники выводит производство на уровень высокоинтеллектуальных технологий будущего столетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канюков, В.Н. Развитие научно-технических решений в медицине [Текст]: Учебное пособие / В.Н. Канюков, Н.Г. Тергулов, В.Ф. Винярский, В.В. Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.
2. Сафонов, А.Н. Технологические процессы лазерной обработки материалов [Текст] / А.Н. Сафонов // Технологическое оборудование и материалы. – 1998. – № 5. – С. 58-68.
3. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении [Текст] / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 336 с.

УДК 621.01(075)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Артюхов Д.С., Кульгин А.М., гр. Т-21
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Благодаря созданию надежного и достаточно экономичного лазерного оборудования в 1970...1980-х годах возникла новая промышленная технология – лазерная технология обработки материалов. Рассмотрим особенности конкретных технологических процессов [1-3].

Резание металлов. Лазерная резка стальных листов толщиной до 6 мм по сложному контуру является наиболее распространенным технологическим процессом лазерной обработки в промышленности. Ее применяют для вырезки таких деталей, как прокладки, кронштейны, панели, приборные щитки, двери, декоративные решетки, дисковые пилы. Весьма эффективным оказалось применение лазерной резки фигурных изделий на стадии освоения новой продукции, так как из-за высокой гибкости лазерного оборудования значительно сокращаются сроки освоения изделий. Лазерная резка экономичнее резки водяной струей и эрозионной проволокой. В настоящее время высокими темпами развивается резка пространственных изделий, в том числе с использованием роботов-манипуляторов.

Резка неметаллов и труднообрабатываемых материалов. Как показала практика, лазерное излучение может эффективно использоваться для раскроя неметаллических материалов: оргстекла толщиной до 50 мм, фторопласта до 30 мм, стеклотекстолита, гетинакса, полиэтилена, поливинилхлорида до 2 мм, асбоцемента, базальтовых тканей, тканей для бронежилетов, кожи, картона для упаковки, керамики, ситалла, ковров и текстиля. Разработаны экономичные методы резки неорганического стекла, в том числе и по сложному контуру.

Сварка. Лазерной сваркой достаточно просто формируются соединения из углеродистых и легированных сталей толщиной не более 10 мм. Наиболее полно преимущества лазерной сварки реализуются при сварке тонких изделий (до 1 мм): электрических контактов, корпусов измерительных приборов, батарей аккумуляторов, сильфонов, переключателей, сердечников трансформаторов. Проводится высококачественная сварка ювелирных изделий из золота, платины, серебра (цепочек, колец), а также сварка проводов термопар.

Лазерная маркировка. Этот процесс получил распространение при нанесении размерных шкал на измерительный инструмент, изготовлении табличек и указателей, маркировке изделий (электрических соединителей [4], инструмента, подшипников) и товаров, изготовлении сувениров в виде значков или в виде объемных рисунков внутри стеклянных изделий. Процесс маркировки деталей

приборов высокопроизводителен и отличается малой стоимостью. Все больше места в общем объеме процессов находит декоративная гравировка: нанесение художественных рисунков на панно, элементы мебели, стекло, кожу и т.д.

Пробивка отверстий. С помощью этого метода можно получать отверстия диаметром 0,2-1,2 мм при толщине материала до 3 мм. При соотношении высоты отверстий к их диаметру 16:1 лазерная пробивка превосходит по экономичности почти все другие методы. Объектами применения этой технологии являются: сита, ушки игл, форсунки, фильтры, ювелирные изделия (подвески, четки, камни). В приборостроении с помощью лазеров осуществляется пробивка отверстий в часовых камнях (опорах часовых трибов) и в волоочильных фильерах, причем производительность достигает 700 тысяч отверстий за одну смену.

Лазерная закалка. Воздействие лазерного излучения на поверхность изделий позволяет получить глубину упрочнения материалов поверхностей (металлов и сплавов) до 1,5 мм при ширине единичных полос 2-15 мм. Обработке обычно подвергаются детали, работающие в условиях интенсивного износа: направляющие станков, детали двигателей, кольца подшипников, валы, барабаны, запорная арматура, режущий инструмент, детали пресс-форм и штампов. Обычно достигается увеличение стойкости изделий в 1,5-5 раз.

Легирование и наплавка. С помощью этих процессов на поверхности сплавов получают слои с уникальными свойствами: высокой износостойкостью, теплостойкостью и т.д. Наибольшее распространение получает лазерная наплавка с целью восстановления изношенных деталей машин: распредвалов, коленвалов, клапанов, шестерен, штампов. Процесс отличается минимальными деформациями детали и повышенной износостойкостью поверхности.

Процессы микроразмерной обработки. Высокая степень автоматизации в последние годы позволила вновь на новой стадии использовать на практике такие процессы, как подгонка номиналов резисторов и пьезоэлементов, отжиг имплантированных покрытий на поверхности полупроводников, напыление тонких пленок, зонная очистка и выращивание кристаллов. Возможности многих процессов к настоящему моменту еще не до конца раскрыты.

Лазерная стереолитография. Сущность этой технологии состоит в послойном изготовлении вещественных копий компьютерных образов деталей, формируемых с помощью пакетов трехмерной графики. Конкретно технология включает в себя следующие этапы: создание компьютерного образа детали при разбиении его на тонкие поперечные сечения, последовательное воспроизведение этих поперечных сечений при полимеризации поверхности жидкой фотополимеризующейся композиции сфокусированным лазерным излучением, перемещающимся по этой поверхности. Каждый полимеризующийся слой имеет свою сложную конфигурацию, макет изделия формируется при последовательном наложении слоев. Поскольку сфокусированное излучение имеет диаметр пучка несколько десятков микрометров и скорость его перемещения может достигать 1 м/с, то можно говорить о создании высокоточной сверхскоростной

компьютерной технологии воспроизведения формы пространственных объектов.

Резка тонкостенного трубчатого стекла. В технологии изготовления ряда приборов, например электровакуумных, существует проблема бездефектной резки трубчатого стекла на заготовки баллонов приборов. Основной механизм резки – направленное разделение за счет термоупругих напряжений, возникающих в стекле под действием больших температурных градиентов. При вращении трубки с частотой порядка 20 с^{-1} на ее поверхности создается кольцевой источник тепла, при котором благодаря термоупругим напряжениям, превышающим предел прочности стеклянной трубки, возникает разделяющая трещина. В зависимости от скорости роста напряжений можно получить различную шероховатость поверхностей разделения от 4-го до 13-го классов. С помощью лазерного излучения можно произвести резку листового стекла, керамики и нарезку кварцевых трубок.

Удаление тонких изоляционных пленок с проводников. Зачистка изоляции с тонких проводников является одной из проблем технологии радиоприборостроения. Существующие способы удаления изоляции (механический, химический и др.) не обеспечивают надежной зачистки. Технология зачистки проводников от изоляции с помощью CO_2 -лазера основана на свойствах излучения с длиной волны 10,6 мкм хорошо поглощаться диэлектриками и отражаться от металлов. В результате воздействия излучения лазера на проводник происходит выгорание изоляции. Металлическая жила при этом не успевает разрушиться благодаря ее высокой отражательной способности. Скорость перемещения проводника выбирается в зависимости от его диаметра, мощности излучения, толщины изоляции.

Скрайбирование и резка полупроводниковых пластин. С тех пор как образовалось направление полупроводниковой технологии, появилась проблема разделения полупроводникового материала на отдельные элементы. В случае плоской пластины полупроводникового материала эта операция состояла в том, что с помощью алмазного инструмента производился предварительный надрез пластины с последующим разламыванием ее на отдельные части по линии надреза. В полупроводниковой промышленности эта технология используется для производства полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Фигурная резка древесных материалов. Этот процесс широко используется на многих малых предприятиях при изготовлении наличников, карнизов, кронштейнов, мебели и кухонных изделий, шкатулок, сувениров и художественных изделий, эмблем и товарных знаков из драгоценных пород дерева. Раскрой материалов из доски, фанеры, древесно-стружечных плит толщиной до 40 мм осуществляется по сложному программируемому контуру при скорости реза до 3 м/мин. Особый интерес представляет изготовление художественного резного паркета.

Перспективы развития лазерных технологий. Среди разработок новых техпроцессов большое место занимают комбинированные методы обработки, где воздействие лазерного излучения совмещено с другими технологическими

процессами. Так, использование лазерного луча совместно с электрической дугой, плазменной струей или газовой горелкой позволяет в несколько раз повысить эффективность воздействия, то есть увеличить толщину сварки, резки или закалки. Применение лазерного излучения при механической обработке металлов и сплавов позволяет поднять производительность в несколько раз, улучшить качество обработки. Применение пластического деформирования (механической упрочняющей обработки) сплавов перед или после лазерной закалки позволяет получить новые свойства поверхности. Интенсивно развиваются методы лазерной обработки тонкостенных листовых материалов для формирования объемных конструкций вследствие направленного деформирования. Известны работы в нашей стране и за рубежом по скоростной лазерной обработке поверхности электротехнических сталей и сплавов для изменения электромагнитных свойств. Большой интерес представляют процессы, основанные на ускорении химических реакций, в частности, реакций восстановления металлов, синтеза нитридов, карбидов и других соединений. С успехом проведены работы по очистке от загрязнений произведений искусства под воздействием лазерного излучения, а также по очистке поверхностей от лакокрасочных покрытий.

Наиболее перспективными для использования во многих технологических процессах являются волоконные лазеры. В настоящее время на отечественном рынке представлены одномодовые волоконные лазеры со средней выходной мощностью до 2 кВт, маломодовые до 10 кВт и многомодовые системы с выходной мощностью до 50 кВт. Наибольшие уровни мощности достигнуты в лазерах на активированном волокне, генерирующих излучение с длиной волны 1,07 мкм, которое поглощается в металлах лучше, чем излучение с длиной волны 10,6 мкм. Кроме того, в 10 раз меньшая длина волны позволяет получить меньшую расходимость излучения, а значит, лучше его сфокусировать. Этим объясняется тот факт, что даже относительно маломощные 100-ваттные одномодовые лазеры обеспечивают резку стали толщиной 1,5 мм со скоростью до 4 м/мин. Технические характеристики волоконных лазеров позволяют реализовать режим дистанционной сварки, существенно упрощающий встраивание лазерного оборудования в современные роботизированные производственные линии, и резко увеличивает скорость сварки. Разработанные в последнее время волоконные лазеры позволили создать системы гравировки с разрешением и качеством аналогичным твердотельным лазерам и позволяющим получать качественную гравировку на некоторых неметаллических материалах. Преимуществами гравировальных систем на волоконных лазерах являются их компактность, малое энергопотребление, отсутствие охлаждающих устройств, отсутствие необходимости замены элементов.

Таким образом, теория и практика лазерной обработки материалов подтверждает огромные возможности лазерных технологий, которые позволяют эффективно решать крупные производственные задачи. Применение лазерной техники выводит производство на уровень технологий будущего столетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каниюков, В.Н. Развитие научно-технических решений в медицине [Текст]: Учебное пособие / В.Н. Каниюков, Н.Г. Терегулов, В.Ф. Винярский, В.В. Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.
2. Сафонов, А.Н. Технологические процессы лазерной обработки материалов [Текст] / А.Н. Сафонов // Технологическое оборудование и материалы. – 1998. – № 5. – С. 58-68.
3. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении [Текст] / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 336 с.

УДК 621.01(075)

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОСОБОГО КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО ПРИ КАРАЧЕВСКОМ ЗАВОДЕ «ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ»

Лебедев А.В., гр. То-34
(Карачевский филиал ОрелГТУ)
Рук. Марков В.В.

Для успешного развития промышленности недостаточно иметь представление о её современном состоянии, необходимо знать и беречь историю. В 2010 году в Карачевском филиале Орловского государственного технического университета началась реализация студенческого проекта «Предприятия родного края».

Брянская область – Российское Нечерноземье. Бедные почвы, суглинки, дремучие леса и бескрайние болота не позволяли людям жить одним сельским хозяйством. Издавна наш край известен «промыслами», а с XIX века – промышленностью. До революции в городе Карачеве насчитывалось до 200 предприятий и артелей, в основном специализирующихся на переработки сельхозпродукции и лесоматериалов. Начиная с 1924 года в городе стали создаваться машиностроительные, а с 1958 года – приборостроительные предприятия и предприятия радиоэлектронной промышленности.

В данной работе приведена информация об истории создания и развития одного из наиболее интересных предприятий города – особом конструкторском бюро при Карачевском заводе «Электродеталь»

Особое конструкторское бюро (ОКБ) при Карачевском заводе «Электродеталь» было образовано по приказу Министерства электронной промышленности в 1980-м году. ОКБ было образовано на базе одного из подразделений

завода «Электродеталь» – специального конструкторско-технологического бюро и выведено в отдельное предприятие. Руководителем ОКБ был назначен ведущий конструктор завода «Электродеталь» – Волков Михаил Петрович.

В особое конструкторское бюро входили следующие структурные подразделения: научно-технический сектор; отдел механизации и автоматизации производства (ОМА); сектор разработки электрических соединителей; технологический сектор; сектор САПР; экспериментальный участок; сектор технической документации. В ОКБ работало около 150 сотрудников. По образовательному уровню: 71% – специалисты с высшим образованием; 21% – специалисты со средним специальным образованием; 8% – специалисты со средним образованием.

Инженерно-технические работники ОКБ выполняли следующие функции.

Научно-технический сектор: разработка тематических планов работы ОКБ и структурных подразделений ОКБ; оформление и заключение договоров с Главным управлением Министерства электронной промышленности, а также с другими заводами на разработку и освоение серийного выпуска изделий и комплектующих радиоэлектронной аппаратуры; составление научно-технических отчетов при выполнении ОКР; проведение научно-технических советов.

Отдел механизации и автоматизации (ОМА): механизация и автоматизация производственных процессов; разработка станков-автоматов для сборки соединителей, для получения комплектующих, для организации группового контроля параметров электрических соединителей.

Сектор разработки соединителей: разработка, согласование и утверждение тематических карточек и технических заданий (ТЗ) на разработку и освоение серийного выпуска электрических соединителей и других изделий электронной техники; разработка конструкторской документации (КД) на соединители; разработка программ испытаний и проведение испытаний новой продукции; составление документации при приемке опытно – конструкторских работ заказчику.

Сектор систем автоматизированного проектирования: проектирование соединителей, создание документации с использованием ЭВМ.

Экспериментальный участок: изготовление опытных образцов разработанных изделий: соединителей, технологической оснастки, станков, роботов, образцов другого нестандартного оборудования, автоматов для обработки деталей.

Технологический сектор: модернизация существующих техпроцессов и разработки с внедрением новых технологических процессов при производстве электрических соединителей; внедрение разработанных техпроцессов в производство.

Сектор технической документации: оформление, размножение и комплектование технической документации (ТД); учёт ТД; хранение ТД.

Все разработки ОКБ были востребованы, внедрялись на заводе «Электродеталь» и давали при этом значительный экономический эффект.

Разработка розеток соединительных для подсоединения микросхем к печатным платам, соединителей с нулевым усилием сочленения, ленточных соединителей было новой ступенью в развитии электротехники. Внедрение новых технологических линий в гальваническом и сборочном производстве позволили обеспечить высочайший уровень качества изделий и в разы повысить производительность труда.

Роботизированные участки в механическом цехе по обработке комплектующих деталей малых размеров (до 5...8 мм) позволили организовать четкое выполнение планов по выпуску электрических соединителей.

Коллектив ОКБ работал слаженно, очень эффективно. Его разработки внедрялись на заводе «Электродеталь», в г. Москве, г. Зеленограде, г. Калуге и др. Высококласные специалисты были патриотами своего предприятия, своего города и все силы отдавали на достижения наилучших результатов.

К огромному сожалению, в период кризиса 1996 года, когда всем предприятиям выживать было крайне трудно, заявок стало поступать недостаточно для рентабельной работы предприятия. В 1997 году ОКБ было подвергнуто процедуре банкротства. После этого имущество ОКБ было передано заводу «Электродеталь», здание филиалу Орел ГТУ. Специалисты частично перешли на завод «Электродеталь», частично – на другие промышленные предприятия или в коммерческие структуры. Но в итоге распад и банкротство ОКБ явилось огромной потерей для промышленности Карачева, а утрата такого мощного интеллектуального потенциала становятся все более ощутимой с каждым годом.

УДК 624.072.233

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ К РЕШЕНИЮ СИСТЕМЫ ТРЕХЧЛЕННЫХ УРАВНЕНИЙ В РАСЧЕТАХ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК

**Иванилова Н.С., гр. 21-ГС
Рук. Кобяков Е.Т.**

Системы уравнений с трехдиагональной матрицей коэффициентов рассматривались с целью получения удобного алгоритма решения рядом исследователей. Частный случай системы линейных алгебраических уравнений дает возможность получить общее решение этой системы.

Диагональные матрицы коэффициентов при раскрытии статической неопределенности получаются для систем, имеющих однотипные, повторяющиеся элементы. Такими элементами являются, например, пролеты многоопорного стержня. Системы уравнений обладают относительной простотой и особенно удобны для машинного счета при большом количестве неизвестных.

Рассматриваемый метод основан на использовании обратной матрицы, элементы которой выражены через верхние и нижние главные диагональные миноры исходной трехдиагональной матрицы системы уравнений, которые вычисляются предварительно.

Применение обратной матрицы особенно удобно при анализе поведения решения в зависимости от вида внешнего воздействия, описываемого свободными членами системы уравнений. Кроме того, появляется возможность выборочного определения неизвестных и обоснования их приближенного вычисления.

1. Решение системы линейных уравнений с трехдиагональной матрицей.

Имеем систему уравнений в матричной форме:

$$A \cdot \vec{X} = \vec{F} \quad (1)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & v_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ u_2 & a_2 & v_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & u_3 & a_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & v_n \\ 0 & 0 & 0 & \dots & u_n & a_n \end{pmatrix}; \quad \vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dots \\ X_{n-1} \\ X_n \end{pmatrix}; \quad F = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \dots \\ f_{n-1} \\ f_n \end{pmatrix}$$

Решение данной системы:

$$\vec{X} = A^{-1} \cdot \vec{F} \quad (2)$$

Обратная матрица A^{-1} получена в научно-исследовательских трудах и имеет вид:

$$A^{-1} = \frac{1}{\alpha} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_0 \cdot \Delta_2 & -\alpha_0 \cdot \Delta_3 \cdot v_2 & \alpha_0 \cdot \Delta_4 \cdot v_{2,3} & \dots & (-1)^{n+1} \cdot \alpha_0 \cdot \Delta_{n+1} \cdot v_{2,n} \\ -\alpha_0 \cdot \Delta_3 \cdot u_2 & \alpha_0 \cdot \Delta_3 & -\alpha_1 \cdot \Delta_4 \cdot v_3 & \dots & (-1)^{2+n} \cdot \alpha_1 \cdot \Delta_{n+1} \cdot v_{3,n} \\ \alpha_0 \cdot \Delta_4 \cdot u_{2,3} & -\alpha_1 \cdot \Delta_4 \cdot u_3 & \alpha_2 \cdot \Delta_4 & \dots & (-1)^{3+n} \cdot \alpha_2 \cdot \Delta_{n+1} \cdot v_{4,n} \\ -\alpha_0 \cdot \Delta_5 \cdot u_{2,4} & \alpha_1 \cdot \Delta_5 \cdot u_{3,4} & -\alpha_2 \cdot \Delta_5 \cdot u_4 & \dots & (-1)^{4+n} \cdot \alpha_3 \cdot \Delta_{n+1} \cdot v_{5,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (-1)^{n+1} \cdot \alpha_0 \cdot \Delta_{n+1} \cdot u_{2,n} & (-1)^{n+2} \cdot \alpha_1 \cdot \Delta_{n+1} \cdot u_{3,n} & (-1)^{n+3} \cdot \alpha_2 \cdot \Delta_{n+1} \cdot u_{4,n} & \dots & \alpha_{n-1} \cdot \Delta_{n+1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Для краткости в элементах матрицы A^{-1} обозначены:

$$u_{k,s} = u_k \cdot u_{k+1} \cdot u_{k+2} \cdot \dots \cdot u_s; \quad v_{r,j} = v_r \cdot v_{r+1} \cdot v_{r+2} \cdot \dots \cdot v_j \quad (4)$$

Элементы матрицы A^{-1} выражены через верхние α_k и нижние Δ_i главные диагональные миноры, которые вычисляются по формулам:

$$\alpha_k = a_k \cdot \alpha_{k-1} - u_k \cdot v_k \cdot \alpha_{k-2} \quad (k = 0, 1, \dots, n) \quad (5)$$

$$\Delta_i = a_i \cdot \Delta_{i+1} - u_{i+1} \cdot v_{i+1} \cdot \Delta_{i+2} \quad (i = n-1, n-2, \dots, 1) \quad (6)$$

Примеч:

$$\alpha_0 = 1; \quad \alpha_1 = a_1; \quad \Delta_{n+1} = 1; \quad \Delta_n = a_n; \quad \alpha_n = \Delta_1 = \alpha \quad (7)$$

где α - определитель матрицы A , для которого имеется формула:

$$\alpha = \alpha_j \cdot \Delta_{j+1} - u_{j+1} \cdot v_{j+1} \cdot \alpha_{j-1} \cdot \Delta_{j+2} \quad (8)$$

Равенства (7) и (8) удобны для проверки правильности вычислений по формулам (5) и (6).

Порядковый номер верхнего минора α_k и его порядок совпадают с номером нижнего диагонального элемента этого минора, а номер нижнего минора Δ_i совпадает с номером его верхнего диагонального элемента, и его порядок равен $(n+1-i)$, где n – порядок матрицы A .

Миноры α_k и Δ_i вычисляются по формулам (5) и (6) с помощью программы.

Вычисленные значения верхних и нижних главных диагональных миноров α_k и Δ_i заносятся в матрицы:

$$D = \begin{pmatrix} \alpha_0 & & & \\ & \alpha_1 & & \\ & & \dots & \\ & & & \alpha_{n-1} \end{pmatrix}; \quad \Delta = \begin{pmatrix} \Delta_2 & & & \\ & \Delta_3 & & \\ & & \dots & \\ & & & \Delta_{n+1} \end{pmatrix}; \quad (9)$$

Матрицу A^{-1} согласно формулам (3) и (9) можно представить в виде:

$$A^{-1} = \alpha^{-1} \cdot (\Delta \cdot U \cdot D + D \cdot V \cdot \Delta) \quad (10)$$

где:

$$U = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & & & & \\ -u_2 & \frac{1}{2} & & & \\ u_{2,3} & -u_3 & \frac{1}{2} & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ (-1)^{n+1} \cdot u_{2,n} & (-1)^{n+2} \cdot u_{3,n} & (-1)^{n+3} \cdot u_{4,n} & \dots & \frac{1}{2} \end{pmatrix};$$

$$V = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -v_2 & v_{2,3} & \dots & (-1)^{1+n} \cdot v_{2,n} \\ & \frac{1}{2} & -v_3 & \dots & (-1)^{2+n} \cdot v_{3,n} \\ & & \frac{1}{2} & \dots & (-1)^{3+n} \cdot v_{4,n} \\ & & & \dots & \dots \\ & & & & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Формирование нижней треугольной матрицы U удобно провести в следующем порядке: без вычислений заполняются главная и первая побочная диагонали, затем вычисляются оставшиеся элементы первого и последующих столбцов согласно (4). Аналогично, по строкам, начиная с первой, заполняются недостающие элементы матрицы V .

Элементы матриц U и V вычисляются с помощью программы.

В важном для практики частном случае симметрической матрицы A выражение (10) принимает вид:

$$A^{-1} = \frac{1}{\alpha} \cdot (\Delta \cdot U \cdot D + D \cdot U^T \cdot \Delta) \quad (12)$$

Для этого достаточно вычислить нижнюю треугольную матрицу $\frac{1}{\alpha} \cdot \Delta \cdot U \cdot D$, так как верхняя треугольная матрица $\frac{1}{\alpha} \cdot D \cdot U^T \cdot \Delta$ получается транспонированием нижней.

После того, как вычислены элементы матриц U, Δ, D и определитель α , легко вычислить с помощью программы элементы матрицы $N = \frac{1}{\alpha} \cdot \Delta \cdot U \cdot D$

2. Определение углов поворота опорных сечений неразрезных балок на жестких опорах.

Система уравнений трех углов поворота, получаемая из уравнения:

$$k_n \cdot \varphi_{n-1} + 2 \cdot (k_n + k_{n+1}) \cdot \varphi_n + k_{n+1} \cdot \varphi_{n+1} - \frac{3 \cdot k_n}{C_{n-1} \cdot l_n} \cdot R_{n-1} - 3 \cdot \left(-\frac{k_n}{C_n \cdot l_n} + \frac{k_{n+1}}{C_n \cdot l_{n+1}} \right) \cdot R_n + \frac{3 \cdot k_{n+1}}{C_{n+1} \cdot l_{n+1}} \cdot R_{n+1} = \frac{1}{2} \cdot (M_{n,p}^{n,n+1} - M_{n,p}^{n,n-1})$$

где k_i - погонная жесткость

C_i - коэффициент жесткости опор соседних пролетов

R_i - реакции опор разрезной балки от действия нагрузки на соседних пролетах

При $C_i \rightarrow \infty$ система уравнений принимает вид (в матричной форме):

$$B \cdot \vec{\Phi} = \frac{1}{2 \cdot k_s} \cdot \vec{M}_p \quad (13)$$

где:

$$B = \begin{vmatrix} 2 \cdot (\beta_1 + \beta_2) & \beta_2 & 0 & \dots \\ \beta_2 & 2 \cdot (\beta_2 + \beta_3) & \beta_3 & \dots \\ 0 & \beta_3 & 2 \cdot (\beta_3 + \beta_4) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \end{vmatrix} \cdot 2 \cdot (\beta_n + \beta_{n+1})$$

$$\vec{\Phi} = \begin{vmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \dots \\ \varphi_n \end{vmatrix}; \quad \vec{M}_p = \begin{vmatrix} M_{1,p} \\ M_{2,p} \\ M_{3,p} \\ \dots \\ M_{n,p} \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$\beta_i = \frac{k_i}{k_s}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n+1); \quad k_s \in \{k_1, k_2, \dots, k_{n+1}\}$$

$$k_i = \frac{EI_i}{l_i} - \text{жесткость пролета балки}$$

Компоненты вектора $\vec{M}_p$ вычисляются по формуле:

$$M_{i,p} = M_{i,p}^{i,i+1} - M_{i,p}^{i,i-1} \quad (15)$$

где $M_{i,p}^{i,i+1}$ и $M_{i,p}^{i,i-1}$ определяются по формуле:

$$M_{0,p}^{o,s} = \sum_{j=1}^m \{ \beta_M \cdot M + \beta_p \cdot P \cdot l + \beta_{\Delta q} \cdot \Delta q \cdot l^2 + \beta_{\Delta q'} \cdot \Delta q' \cdot l^3 + \dots \} \cdot j$$

β_i - коэффициент влияния

Решение системы (13), как и в предыдущем пункте, представляется в виде:

$$\vec{\Phi} = \frac{1}{2 \cdot k_s} \cdot B^{-1} \cdot \vec{M}_p$$

Для вычисления элементов матрицы B^{-1} можно использовать разработанную в п.1 методику с учетом симметрии матрицы B

3. Определение опорных изгибающих моментов.

Для этого запишем уравнение трех моментов:

$$\frac{M_{n-1}}{6 \cdot k_n} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{1}{k_n} + \frac{1}{k_{n+1}} \right) \cdot M_n + \frac{M_{n+1}}{6 \cdot k_{n+1}} = \varphi_{n,p}^{n,n+1} + \varphi_{n,p}^{n,n-1}$$

в матричной форме:

$$\Lambda \cdot \vec{M} = 6 \cdot k_s \cdot \vec{\Phi}_p \quad (17)$$

где:

$$\Lambda = \begin{vmatrix} 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 \\ \lambda_2 & 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) & \lambda_3 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_3 & 2 \cdot (\lambda_3 + \lambda_4) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 2 \cdot (\lambda_n + \lambda_{n+1}) \end{vmatrix};$$

$$\vec{M} = \begin{vmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \dots \\ M_n \end{vmatrix}; \quad \vec{\Phi}_p = \begin{vmatrix} \varphi_{1,p} \\ \varphi_{2,p} \\ \varphi_{3,p} \\ \dots \\ \varphi_{n,p} \end{vmatrix} \quad (18)$$

$$\lambda_i = \frac{k_s}{k_i}; \quad k_s \in \{k_1, k_2, \dots, k_{n+1}\}; \quad k_s = \frac{EI_s}{l_s}$$

Компоненты вектора $\vec{\Phi}_p$ вычисляются по формуле:

$$\varphi_{i,p} = \varphi_{i,p}^{i,i-1} + \varphi_{i,p}^{i,i+1} \quad (19)$$

где $\varphi_{i,p}^{i,i-1}$ и $\varphi_{i,p}^{i,i+1}$ вычисляем по формуле:

$$\varphi_{o,p} = \frac{1}{6 \cdot k} \cdot \sum_{j=1}^m \{ \alpha_M \cdot M + \alpha_p \cdot P \cdot l + \alpha_{\Delta q} \cdot \Delta q \cdot l^2 + \alpha_{\Delta q'} \cdot \Delta q' \cdot l^3 + \dots \}$$

α_i - коэффициент влияния

Нумерацию ведем с нуля, начиная с левой шарнирной опоры. В случае заделанных концов балки левая заделка имеет номер 1, а правая – n, причем $\lambda_1 = 0$, $\lambda_{n+1} = 0$. Порядок матриц равен числу неизвестных опорных моментов.

С использованием рассмотренной выше методики решения систем уравнений, решение системы (17) представляется в виде:

$$\vec{M} = 6 \cdot k_s \cdot \Lambda^{-1} \cdot \vec{\Phi}_p$$

При вычислении элементов матрицы Λ^{-1} следует иметь в виду симметрию матрицы Λ , что существенно сократит объем вычислений.

Разработанная методика решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей коэффициентов позволяет определять основные неизвестные выборочно, что в случае неразрезной балки позволит, если нет необходимости расчета всей балки, ограничиться определением неизвестных лишь в нескольких сечениях.

За счет того, что числовые значения элементов строк обратной матрицы убывают при удалении от главной диагонали, возможно приближенное определение основных неизвестных.

УДК 624.072.233

УРАВНЕНИЯ МЕТОДА СИЛ И МЕТОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ К РАСЧЕТУ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК НА ЖЕСТКИХ И УПРУГОПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ

Сидорова Е.А., гр. 21-ГС
Рук. Кобяков Е.Т.

Балка (от голл. balk) в технике, конструктивный элемент, обычно в виде бруса, работающий главным образом на изгиб. Балку широко применяют в строительстве и машиностроении: в конструкциях зданий, мостов, эстакад, транспортных средств, машин, станков и т.д. Изготавливаются балки в основном из железобетона, металла и дерева. В зависимости от числа опор и характера опорных креплений различают балки: однопролётные, многопролётные, консольные, с заделанными концами, разрезные, неразрезные и др.

Неразрезной балкой называют брус, перекрывающий ряд пролетов и неразрывно связанный с опорами. Неразрезные балки экономичнее разрезных, т.к. значения изгибающих моментов в них меньше. Недостатком неразрезных балок, как и всякой статически неопределимой системы, является большая чувствительность их к неравномерной осадке опор, а также появление дополнительных напряжений при неравномерном изменении температуры. Расчет неразрезной балки на шарнирно неподвижных опорах на действие вертикальной нагрузки ничем не отличается от такой же балки на одной неподвижной и остальных подвижных опорах. Неразрезная балка при отсутствии промежуточных шарнирных включений столько раз статически неопределима, сколько промежуточных опор (при условии шарнирного опирания концов)

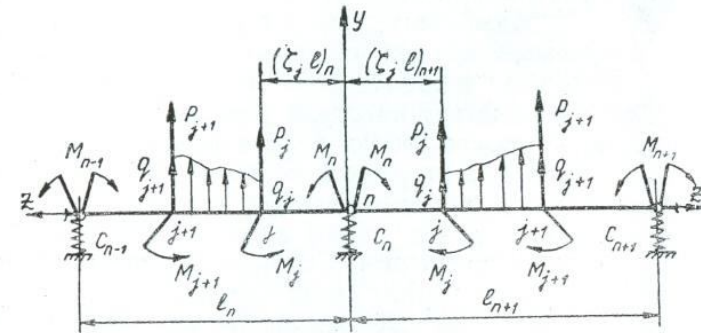


Рис.1

Из уравнений начальных параметров выразим силовые параметры через геометрические. Пропедев несложные операции имеем:

$$\begin{bmatrix} M_0 \\ Q_0 \\ M_s \\ Q_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{6k}{l} & -4k & \frac{6k}{l} & -2k \\ \frac{12k}{l^2} & \frac{6k}{l} & -\frac{12k}{l^2} & \frac{6k}{l} \\ \frac{6k}{l} & 2k & -\frac{6k}{l} & 4k \\ \frac{12k}{l^2} & \frac{6k}{l} & -\frac{12k}{l^2} & \frac{6k}{l} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_0 \\ \varphi_0 \\ y_s \\ \varphi_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_{0,p} \\ Q_{0,p} \\ M_{s,p} \\ Q_{s,p} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} M_{0,p} \\ lQ_{0,p} \\ M_{s,p} \\ lQ_{s,p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 & 2 & 0 & 0 \\ 12 & -6 & 0 & 0 \\ 6 & -4 & 1 & 0 \\ 12 & -6 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \sum_{j=1}^m \begin{bmatrix} m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & \dots \\ m_0 & m_1 & m_2 & m_3 & \dots \\ 0 & m_0 & m_1 & m_2 & \dots \end{bmatrix}_f \cdot \begin{bmatrix} M \\ Pl \\ \Delta q l^2 \\ \Delta q' l^3 \\ \vdots \end{bmatrix}_f \quad (2)$$

Представление матрицы-столбца концевых усилий от действия нагрузки в форме ряда удобно тем, что становится возможным учет влияния нагрузки любой сложности, т.к. закономерность построения компонентов ряда очевидна. Также, выражение (2) позволяет определять реакции опор однопролетных балок с заделанными концами при любой поперечной нагрузке.

Метод перемещений.

Запишем уравнения равновесия опорного узла n, учитывая зависимости

(1):

$$k_n \varphi_{n-1} + 2(k_n + k_{n+1}) \varphi_n + k_{n+1} \varphi_{n+1} - \frac{3k_n}{l_{n-1} l_n} R_{n-1} - 3 \left(-\frac{k_n}{l_n l_{n+1}} + \frac{k_{n+1}}{l_n l_{n+1}} \right) R_n + \frac{3k_{n+1}}{l_{n+1} l_{n+2}} R_{n+1} = \frac{1}{2} M_{n,p} \quad (3)$$

$$\frac{k_n}{l_n} \varphi_{n-1} + 2 \left(\frac{k_n}{l_n} + \frac{k_{n+1}}{l_{n+1}} \right) \varphi_n - \frac{k_{n+1}}{l_{n+1}} \varphi_{n+1} - \frac{2k_n}{l_{n-1} l_n^2} R_{n-1} + \left[\frac{1}{6} + \frac{2}{c_n} \left(\frac{k_n}{l_n^2} + \frac{k_{n+1}}{l_n l_{n+1}} \right) \right] R_n - \frac{2k_{n+1}}{c_{n+1} l_{n+1}^2} R_{n+1} = \frac{1}{6} R_{n,p} \quad (4)$$

Здесь учтено, что реакция R_i опоры i связана с перемещением y_i . Моменты и поперечные силы от нагрузки в пролетах $(n, n-1)$ и $(n, n+1)$ определяются:

$$M_{0,p}^{0-s} = \sum_{j=1}^n \left\{ (1-\zeta)(-1+3\zeta)M + (1-\zeta)^2 \zeta P l + \frac{1}{12} (1-\zeta)^3 (1+3\zeta) \Delta q l^2 + \frac{1}{60} (1-\zeta)^2 (2+3\zeta) \Delta q l^3 + \dots \right\} \quad (5)$$

$$l Q_{0,p}^{0-s} = \sum_{j=1}^n \left\{ 6(1-\zeta) \zeta M + (1-\zeta)^2 (1+2\zeta) P l + \frac{1}{4} (1-\zeta)^3 (2+2\zeta) \Delta q l^2 + \frac{1}{20} (1-\zeta)^4 (3+2\zeta) \Delta q l^3 + \dots \right\} \quad (6)$$

Верхние индексы указывают номер пролета и направление отсчета координат ζ_j . Углы поворота φ_i в (3) и (4) приняты положительными при повороте сечения против хода часовой стрелки. Расчет системы целесообразно проводить в матричной форме.

Метод сил.

Условие неразрезности балки имеет вид: $-\varphi_n^{n,n-1} = \varphi_n^{n,n+1}$, помещая начало координат на опоре n:

$$\frac{M_{n-1}}{6k_n} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k_n} + \frac{1}{k_{n+1}} \right) M_n + \frac{M_{n+1}}{6k_{n+1}} - \frac{y_{n-1}}{l_n} + \left(\frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_{n+1}} \right) y_n - \frac{y_{n+1}}{l_{n+1}} = \varphi_n^{n,n-1} + \varphi_n^{n,n+1} \quad (7)$$

Исключив в (7) перемещения y_i ($i=n-1, n, n+1$), получим уравнение пяти моментов:

$$\frac{M_{n-2}}{c_{n-1} l_{n-1} l_n} + \left[\frac{1}{6k_n} - \frac{1}{c_{n-1} l_n} \left(\frac{1}{l_{n-1}} + \frac{1}{l_n} \right) - \frac{1}{c_n l_n} \left(\frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_{n+1}} \right) \right] M_{n-1} + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{k_n} + \frac{1}{k_{n+1}} \right) + \frac{1}{c_{n-1} l_n^2} + \frac{1}{c_n} \left(\frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_{n+1}} \right)^2 + \frac{1}{c_{n+1} l_{n+1}^2} \right] M_n + \left[\frac{1}{6k_{n+1}} - \frac{1}{c_n l_{n+1}} \left(\frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_{n+1}} \right) - \frac{1}{c_{n+1} l_{n+1}} \left(\frac{1}{l_{n+1}} + \frac{1}{l_{n+2}} \right) \right] M_{n+1} + \frac{M_{n+2}}{c_{n+1} l_{n+1} l_{n+2}} = \varphi_n^{n,n-1} + \varphi_n^{n,n+1} - \frac{R_{n-1,p}^0}{c_{n-1} l_n} + \frac{1}{c_n} \left(\frac{1}{l_n} + \frac{1}{l_{n+1}} \right) R_{n,p}^0 - \frac{R_{n+1,p}^0}{c_{n+1} l_{n+1}} \quad (8)$$

В случае жестких опор из (8) имеем уравнение 3 моментов.

Вместо решения системы уравнений пяти моментов можно использовать метод последовательных приближений в такой форме. Сначала, пренебрегая влиянием опорных моментов, из системы выражений найти осадки опор (как для разрезной системы). Далее эти значения осадок опор внести в систему уравнений трех моментов, после чего вновь определить осадки всех опор с учетом неразрезности балки. Затем вновь найти опорные моменты по уточненным значениям осадок. Обычно второе или третье приближение оказывается достаточно точным.

Из изложенного следует, что полученные универсальные формулы для определения реакций опорных связей и перемещений концевых сечений однопролетных балок, имея самостоятельное значение, позволяют упростить формирование уравнений для отыскания основных неизвестных в расчетах неразрезных балок. Эта методика составления уравнений может быть полезной при разработке алгоритмов расчета стержневых систем, в особенности в сложных случаях нагружения, т.к. она исключает какие-либо дополнительные построения и позволяет сравнительно легко записывать уравнения непосредственно по чертежу расчетной схемы системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобяков Е.Т. К вопросу определения усилий и перемещений в элементах стержневых систем // Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1979. - № 7. - С. 39-43
2. Снитко Н.К. Строительная механика: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. - М.: Высш. школа, 1980. - 431 с., ил.
3. <http://metadichka.ru/text/1sopr05>