

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана»
Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗе

**Материалы
Региональной научно-технической конференции**

Том 3



Москва, 2014

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
Н34

Руководители конференции

А. В. Царьков (директор КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана);
А. А. Столяров (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции

А. А. Столяров (председатель оргкомитета);
В. В. Лебедев (ученый секретарь);
Е. Н. Малышев; Г. В. Орлик; А. П. Коржавый; А. А. Жинов;
Ю. П. Корнюшин; А. И. Пономарев; А. К. Рамазанов; А. А. Анкудинов;
Б. М. Логинов; В. Г. Косушкин; В. В. Андреев; А. В. Мазин; А. А. Шубин;
А. К. Горбунов; А. В. Максимов; М. В. Астахов; Е. Н. Сломинская;
О. Л. Перерва; Г. И. Ловецкий; А. Ю. Красноглазов; В. М. Алакин

Н34 **Наукоемкие** технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Региональной научно-технической конференции, 22–25 апреля 2014 г. Т. 3. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 262 с.

ISBN 978-5-7038-3958-4 (т. 3)
ISBN 978-5-7038-3955-3

В сборнике материалов Региональной научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК378:001.891
ББК 74.58:72

ISBN 978-5-7038-3958-4 (т. 3)
ISBN 978-5-7038-3955-3

© Коллектив авторов, 2014
© Калужский филиал МГТУ
им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2014

СЕКЦИЯ 13.

**ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ,
ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ МАШИН

Бауков И. А.¹, Сероштан В. И.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹metrostation@yandex.ru; ²metrostation@yandex.ru

Основное назначение экспертной системы (ЭС) состоит в том, чтобы на любом этапе жизненного цикла ГПМ, можно было бы получить ответы на вопросы, в каком состоянии находится конкретная ГПМ и что следует предпринять для дальнейшей её эксплуатации. ЭС также полезна для разработчиков ГПМ, так как с её помощью можно проводить качественную экспертизу предлагаемой новой конструкции или модернизированной ГПМ. Кроме того, на основе ЭС можно проводить консультации по вопросам разработки, безопасной эксплуатации, обслуживания и ремонта ГПМ.

Система знаний ЭС формируется из трёх основных блоков: базы данных, базы знаний и базы целей.

База данных содержит информацию о группе ГПМ, необходимую для принятия решения по результатам оценки их работоспособности. База знаний содержит набор объективных и субъективных моделей и блок алгоритмов оценки работоспособности ГПМ, а также включает в себя правила поиска оптимального решения в зависимости от ситуации, сложившейся при оценке работоспособности той или иной ГПМ. База целей содержит перечень и алгоритмы реализации работ, которые необходимо выполнять для поддержания работоспособности эксплуатируемой ГПМ.

База данных формируется в виде дерева знаний по конструкции ГПМ с формированием кроны по её системам и узлам по уровням («этажам») с параллельными вертикальными ветвями дерева с конструкционными и эксплуатационными требованиями к ГПМ, её узлам и системам (рис. 1). Основное дерево представляет из себя разновидности конструкций ГПМ, основной корневой ствол которого расположен на первом уровне, на котором формируется вся информация по требованиям, предъявляемым, в общем ко всем видам ГПМ. Второй уровень содержит разновидности, например, грузоподъёмных кранов (мостовые, козловые, башенные, автомобильные, гусеничные и т.д.) и особые требования, предъявляемые конкретно к данной разновидности кранов. Следующий уровень содержит различные виды компоновок данной разновидности кранов или их типов внутри разновидности с соответствующими требованиями.

Далее идут уровни с требованиями к работоспособности конструкций, систем, подсистем, узлов, механизмов и элементов кранов. Если в ЭС

включается информация по кранам, эксплуатируемым в каком-то регионе или на предприятии и поставленным на учёт в ЭС, то такая база данных формируется на отдельных корневых вершинах дерева знаний.

					Мех.-зм														
					Мех.-зм подъёма														
					Мех.-зм поворота														
					Мех.-зм передвижения														
					Дополн. м/к														
					Базовая м/к														
					Типы кранов														
					Виды кранов														
					Все ГПМ														
Конструкция						Т Р Е Б О В А Н И Я													
						к конструкции	к надёжности и безопасности	к эксплуатации	к ремонту и обслуживанию	к расчетам	к материалам	экономические							

Рис.1 Схема построения базы данных ГПМ

База целей формируется из следующих основных задач, которые решает ЭС:

- определение работоспособности ГПМ, т.е. соответствия её всем предъявляемым требованиям;
- выдача рекомендаций по приведению ГПМ в работоспособное состояние;
- расчёт прочности, надёжности, устойчивости и безопасности эксплуа-

тации ГПМ;

- консультации по требованиям, предъявляемым к ГПМ по тем или иным вопросам;
- совершенствование ЭС (анализ обращений, расширение количества моделей и алгоритмов, работа с разработчиками ЭС и т.д.).

База знаний формируется по направлениям:

- структуры ГПМ, которое предполагает узнавание ЭС предлагаемой на экспертизу машины и знание её внутренней структуры;
- оценки работоспособности, которое предполагает: наличие расчётов на прочность, устойчивость, жёсткость всей ГПМ и отдельных её частей;
- методика расчётов на долговечность, вероятностных оценок показателей надёжности ГПМ, исходя из условий их эксплуатации;
- методика оценки технического состояния ГПМ по состоянию её структурных единиц отдельных частей, систем и деталей.

База знаний должна обеспечить оценку:

- работоспособность ГПМ по реальному техническому состоянию конкретного ГПМ;
- эксплуатационных качеств:
 - входных параметров (потребления энергии, параметры внешней среды);
 - выходных параметров (выходной мощности, скорости движения, ускорения, усилий и т.п.);
 - системы ремонта и обслуживания, и обеспечения материалами и запасными частями;
 - правил и норм эксплуатации и др.;
- технологических особенностей:
 - качества материалов, из которых изготовлена ГПМ;
 - технологию изготовления, сборки и испытаний;
 - технологию монтажа и демонтажа;
 - системы контроля и оценки качества и др.;
- соответствия ГПМ стандартам, нормативам и специальным требованиям органов надзора всех уровней.;
- методик анализа безаварийности и безопасности обслуживания ГПМ; рекомендаций по требованиям к обслуживающему персоналу и к его обучению, требований к рабочему месту оператора, перечня состояний ГПМ, при которых запрещается его эксплуатация и др.;
- характеристик окружающей внешней среды, особенностей требований к ГПМ в зависимости от среды её эксплуатации, характеристик и моделей влияния среды на работоспособность машины и её элементов, рекомендаций по защите ГПМ от неблагоприятных факторов окружающей среды и др.

База знаний состоит из правил, определяющих некоторое элементарное условие или ситуацию при выполнении которых следует определённое действие. Если задана цель, то ЭС ищет решение по плану для этой цели в виде проверки определённых правил, которые сравниваются с предъявленными на экспертизу данными. Процесс должен быть непрерывным от начала до конца. В ситуациях, когда пользователь не может предъявить тех или иных данных по запрашиваемым ЭС вопросам или возникает ситуация неизвестная для ЭС, система должна принимать решение о пропуске данной ситуации, запоминать её и в конце при выдаче рекомендаций указывать на необходимость привлечения разработчиков (экспертов) для решения вопроса окончательно. Разработчик после этого вводит новое правило в ЭС, таким образом, система будет “обучаться”.

База знаний формируется в виде дерева экспертных решений, корневой вершиной которого являются правила, реализующие функциональную пригодность ГПМ. Другие вершины построены на правилах, рассматривающих предъявляемую ГПМ на сравнение тех или иных параметров, требований и условий, вытекающих из функции цели. Дерево экспертных решений по заданной цели вычленяет алгоритм с включением в него определённых правил и приёмов.

Правила и приёмы дерева экспертных решений составляются разработчиками и экспертами на основе накопленных знаний в области разработки, изготовления и эксплуатации, и исследования ГПМ. Для составления части правил используются те или иные количественные критерии, задаваемые той или иной документацией, прежде всего стандартами, правилами органов надзора, нормативной документацией, а также непроверяемыми результатами научно-исследовательских школ подъёмно-транспортного направления. Качественные требования, оценка работоспособности строятся на основе опыта экспертов, опыта, накопленного в условиях эксплуатации кранов, в виде эвристических правил и приёмов, строящихся на основе интуиции экспертов, на основе современных достижений науки и техники.

В процессе ЭС при спуске по дереву экспертных решений каждое правило с критериями сравнивается с реальными показателями, предъявленными пользователем. В этом сравнении устанавливается либо соответствие, либо отличие критериев. В случае соответствия спуск продолжается, путь спуска отличается от пути в случае несоответствия правилу. Таким образом, при экспертизе возможно множество путей, каждый из которых ведёт к решению задачи, но с разными результатами. В этом случае дерево экспертных решений должно содержать стратегии поиска решения, задающие правила решения в тех или иных конкретных ситуациях.

При параметрах влияющих на безаварийность и безопасность обслуживания используется адаптивная стратегия. В этом случае рассматривается на первом этапе показатель, имеющий максимальную значимость (рис. 2) и решается вопрос, можно ли каким-либо образом привести этот показа-

тель в норму, чтобы привести ГПМ в работоспособное состояние по этому показателю. Если это возможно, то ЭС даёт рекомендации по ремонту или иным мероприятиям и переходит к рассмотрению второго показателя. Если по второму показателю ЭС также даёт рекомендации по ремонту, то следующий этап заключается в том, что ЭС рассматривает комбинацию первого и второго показателей и степень их совместного влияния на работоспособность. Если есть возможность устранить влияние этих двух показателей на работоспособность, то ЭС переходит к следующему показателю и т.д.

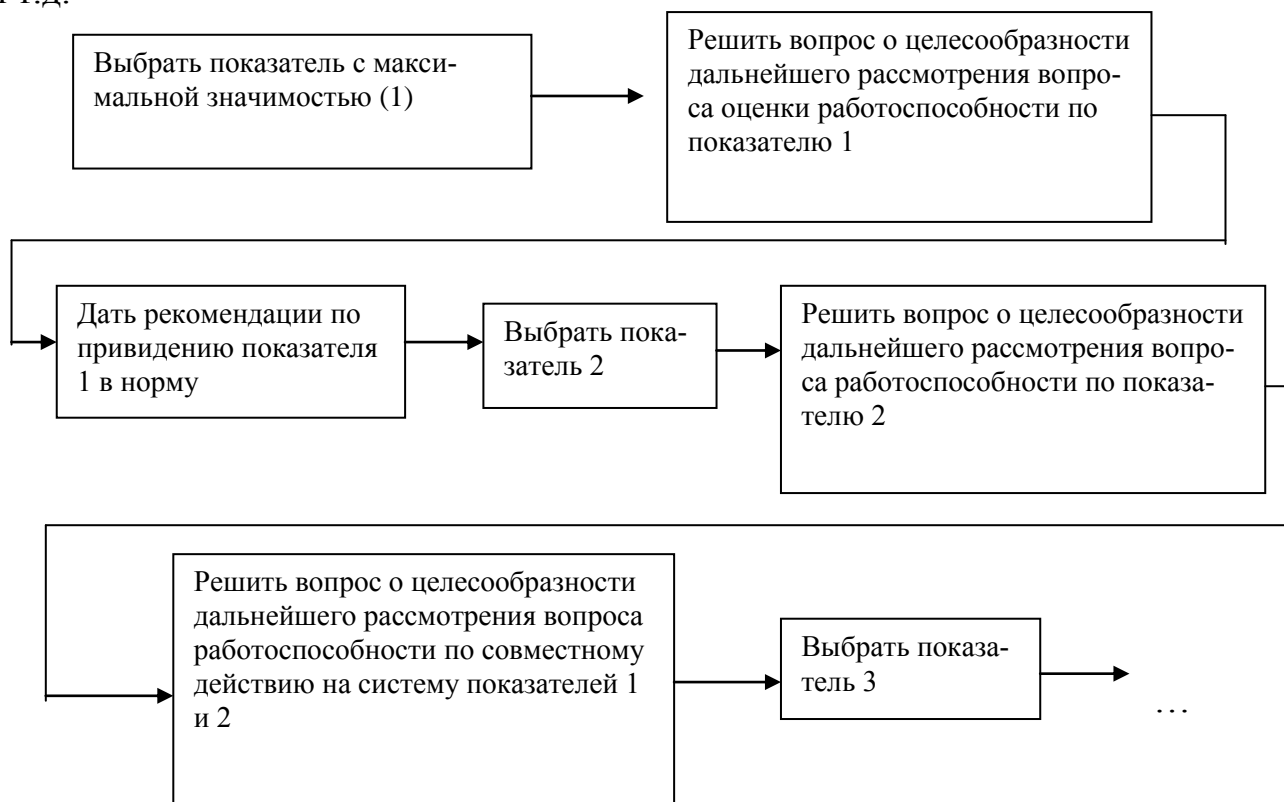


Рис. 2 Адаптивная стратегия

Для показателей, влияющих на безотказность и другие состояния ГПМ используется жёсткая стратегия, при которой ЭС рассматривает каждый из параметров и даёт рекомендации по их приведению к норме.

Список литературы

1. В. И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А. И. Головин и др. Диагностирование грузоподъемных машин: Под ред. В. И. Сероштана, Ю. С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.: ил.
2. Н. А. Шшиков, В. С. Анисимов, Ю. В. Антонов. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – М.: Metallurgy, 1984. – 176 с.
3. В. В. Клюев. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2 кн. М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕТОДОВ УСТАНОВКИ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Рыжкова Анастасия Дмитриевна¹, Шубин Александр Анатольевич²

¹студент; ²доцент, кандидат технических наук

e-mail: ¹stasyakatina@gmail.com; ²k3kf@yandex.ru

Контактная сеть — техническое сооружение электрифицированных железных дорог, служащее для передачи электроэнергии с тяговых подстанций на электроподвижной состав. Основными элементами воздушной контактной сети являются опоры и опорные конструкции, возводящиеся на сваях (Рис. 1). Сваи бывают нескольких типов. Рассмотрим основные из них.



Рис.1

Забивные сваи. Забивные сваи обычно выполнены из железобетона и различаются диаметром и сечением. Забивка свай осуществляется с помощью строительной спецтехники. Забивные сваи – популярное решение на современных стройках, так как обладают «побочным эффектом» в виде уплотнения грунта. Цена свай данного типа – средняя.

Винтовые сваи. Винтовая свая представляет собой стальную трубу, нижняя часть которой оснащена режущими лопастями определенной формы. Лопасть служит для распределения усилия от опоры на большую площадь грунта и препятствует вырыванию сваи силами морозного пучения. Лопасть позволяет преобразовать вращательный момент в поступательное

усилие во время погружения сваи, благодаря чему она как шуруп вкручивается в грунт на необходимую глубину.

В процессе эксплуатации могут случаться чрезвычайные ситуации, такие как сход подвижного состава, повреждение опор и другие, что требует проведения работ по их замене либо восстановления. Но вместе с этим возникают ограничения по времени перекрытия перегона, поэтому сваи должны быть оперативно установлены для восстановления движения на железной дороге.

Исходя из этого, актуальной задачей является выбор наиболее оптимального способа установки свай для опор контактной сети. Оценим такие способы погружения как завинчивание и вибропогружение по нескольким параметрам: несущей способности, времени затрат и трудозатрат.

Определение несущей способности винтовых свай по данным завинчивания. При погружении винтовой сваи возникает сопротивление грунта, которое зависит от свойств и состояния проходимых грунтов, а также от размера лопасти и ствола сваи. Для преодоления этого сопротивления при завинчивании сваи должен быть развит достаточный крутящий момент. Величина его может быть определена как с помощью эмпирических формул, так и практически — инструментальным способом.

Для определения крутящего момента пользуются формулой:

$$M_{кр} = 1,6d^2Lt_{mp} + mkDa = 1,6 \cdot 0,325^2 \cdot 2,5 \cdot 0,45 + 0,6 \cdot 16 \cdot 0,8 \cdot 0,29 = 2,42 \text{ кНм}$$

$d = 0,325 \text{ м}$ — диаметр ствола винтовой сваи;

$D = 0,8 \text{ м}$ — диаметр винтовой лопасти;

$L = 2,5 \text{ м}$ — глубина завинчивания сваи;

$a = 0,29 \text{ м}$ — шаг винта;

$t_{mp} = 0,45 \text{ м} / \text{м}^2$ — величина бокового трения грунта

$k = 16 \text{ м} / \text{м}$ — коэффициент сопротивления.

По мере заглубления сваи увеличивается величина крутящего момента и, соответственно, увеличивается несущая способность винтовой сваи, как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузки. Эту зависимость при работе сваи на сжатие можно записать следующим образом:

$$F_d^g = kM_{кр} = 30 \cdot 2,42 = 72,6 \text{ тс}$$

где: P — величина предельной несущей способности винтовой сваи на сжимающую или выдергивающую нагрузки;

$M_{кр}$ — величина крутящего момента, требуемая для завинчивания сваи на определенную глубину;

k — коэффициент сопротивления сваи при ее завинчивании;

Определение вынуждающей силы вибропогружателя. Исходные данные: фундаменты трехлучевые с заострением подземной части с анкер-

ным креплением опор типа ТСА 4,5-2, предназначенные для анкерной установки отдельных железобетонных и металлических опор контактной сети на железнодорожных участках, электрифицированных на переменном и постоянном токе.

Длина фундамента: 4,5 м

Несущая способность фундамента: 79 кНм

Значение требуемой вынуждающей силы вибропогружателя определяем по формуле:

$$F_0^T = \frac{F_d^c - K_{BC} G_{BC}}{k_s}, \text{ где}$$

$F_d^c = 79 \text{ кНм}$ — несущая способность свай;

$K_{BC} = 2,8$ — коэффициент условий вибропогружения свай;

$G_{BC} = 19,6 \text{ кН}$ - суммарный вес вибросистемы;

$k_s = 2,5$ - коэффициент снижения бокового сопротивления грунта во время погружения (для глинистых грунтов);

$$\text{Получаем: } F_0^T = \frac{F_d^c - K_{BC} G_{BC}}{k_s} = \frac{79 - 2,8 \cdot 19,6}{2,5} \approx 10 \text{ кН}$$

В таблице 1 приведены основные параметры оценки двух способов погружения свай.

Таблица 1

Параметры оценки свай

Расчетные показатели	Винтовые сваи	Сваи для вибропогружения
Глубина завинчивания, м	4,5	4,5
Масса рабочего оборудования, т	1,5	2,0
Несущая способность F_d , кН	72,6	79
Вагонная норма, шт	40	16(24)
Вынуждающая сила вибропогружателя F_0^T , кН	-	10
Мах крутящий момент, кНм	50	-
Скорость вращения гидрокабестана, об/мин	0-10	-
Скорость вибропогружения, см/мин	-	10-20
Время погружения, мин	5	20
Сезон работ	в любое время года	летнее время
Стоимость свай, руб	800	2000
Срок службы, лет	150	70-150

Анализ данных (табл.1) позволяет сделать вывод, что метод завинчивания свай применительно к установке опор контактной сети на железной дороге наиболее оптимален. Его реализация достаточно проста с точки зрения создания специального подвижного состава, так как уже существуют разработки в данной области и есть возможность адаптации установок.

Список литературы

1. Железков В.Н. Винтовые сваи. — С-П.: Прагма, 2004. — с.61-77
2. Критерии выбора погружателей./ Н.Б. Колосова// Инженерно - строительный журнал. Технология. — 2011. —№7. —с.71-81

ЗАМЕНА И УКЛАДКА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УКЛАДОЧНОГО КРАНА УК-25/28СП

Хомутов Павел Вячеславович¹, Шубин Александр Анатольевич²

¹студент; ²доцент, кандидат технических наук
e-mail: ¹pavel2310khomutov@gmail.com; ²shubin55@mail.ru

Замена и укладка рельсошпальной решетки на перегонах и станционных путях является частью комплекса работ текущего содержания пути. Эти работы необходимы, чтобы поддерживать железнодорожный путь в исправном, рабочем состоянии. Одним из ответственных этапов работ является замена стрелочных переводов, он связан с закрытием перегонов, что сказывается на грузопассажирских потоках и пропускной способности железнодорожного пути.

Для решения этой задачи (замены и укладки нового стрелочного перевода) разработаны и применяются специальные путевые машины – укладочные краны для укладки стрелочных переводов. Эту задачу выполняют машины УК-25СП и УК-25/28СП. Отличительными особенностями крана УК-25/28СП являются независимые поворотные порталы, которые выполнены в виде поворотных стоек, каждая из которых может поворачиваться отдельно; коробчатое сечение стационарной и выдвижной секций; схема размещения основного оборудования. Наличие поворотных порталов позволяет пропускать через кран к месту укладки собранный стрелочный перевод шириной до 5,5 м, а также осуществлять поворот стрелы в горизонтальной плоскости на угол 4°.

Кран укладочный УК-25/28СП предназначен для замены крупными блоками любых стрелочных переводов марок 1/9, 1/11 с рельсами типов Р50, Р65, Р75 на железобетонных и деревянных брусках, а также для разборки и укладки железнодорожного пути звеньями 25м. Эксплуатация крана осуществляется при температуре окружающей среды от - 20° до + 40°С.

На рис. 1 приведен кран УК-25/28СП в рабочем положении: 1 – платформа тяговая, 2 – секция опорная; 3 секция выдвижная; 4 – поворотные стойки; 5 – траверса грузовая; 6 – лебедка тяговая; 7 – лебедка грузовая; 8 – гидрооборудование стрелы; 9 – электрооборудование стрелы; 10 – лебедка перетяжки пакетов; 11 – тележка грузовая; 12 – тележка ходовая.

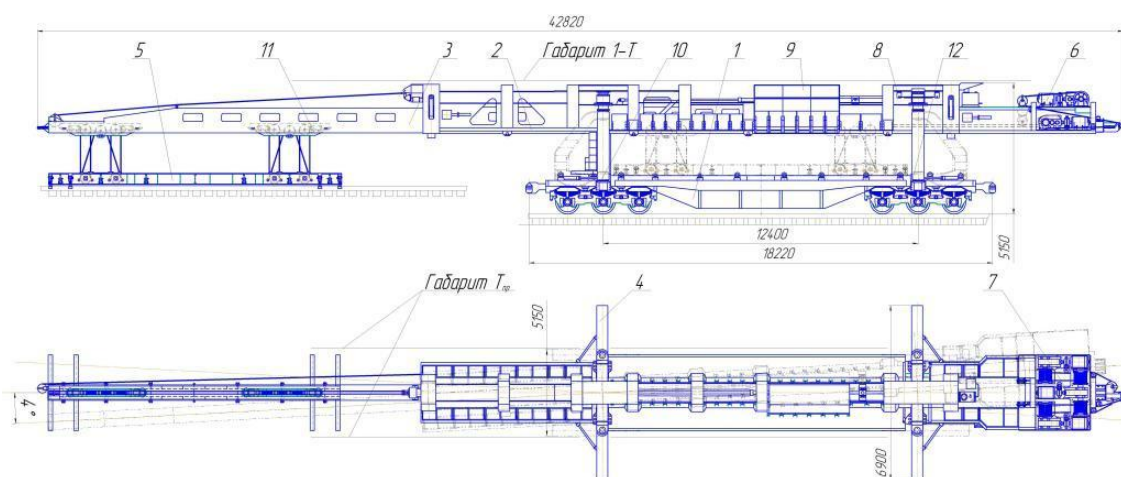


Рис. 1

В тяговой платформе располагаются две силовые установки, пневмотормозное оборудование, насосная установка и распределительная аппаратура гидросистемы, механизмы поворота стоек, две лебедки перетяжки пакетов, электрооборудование.

На стреле крана располагаются грузовое оборудование, механизм поворота стрелы, насосная установка и распределительная аппаратура гидросистемы, контрольно-регулирующая аппаратура электропривода крановых механизмов.

Стрела состоит из двух секций, одна из которых наружная, предназначенная для установки на порталные стойки и является базой для размещения опорных узлов механизма поворота стрелы, грузовых и тяговой лебедок, а также контрольно-регулирующей электроаппаратуры и распределительной аппаратура гидросистемы. Выдвижная секция является направляющей для грузовых тележек.

В рабочем положении внутренняя секция выдвигается на пять метров из стационарной секции, образуя грузовую консоль, обеспечивающую укладку блоков длиной до 25 метров, а стойки поворачиваются на 90° , обеспечивая пропуск через кран блоков шириной до 5,5 м.

Выдвижение и втягивание стрелы производится гидроцилиндром. В конечных положениях производится принудительная фиксация секций между собой стопорами с гидравлическими приводами.

При переводе крана в транспортное положение выдвижная секция втягивается в стационарную, а стойки устанавливаются вдоль продольной оси крана, что обеспечивает крану вписывание в габарит $T_{пр}$ при прохождении кривых радиусом 200 метров.

Инновационное предложение по модернизации конструкции крана. Работа основных узлов крана (лебедки грузовые, тяговая и передвижения пакетов, ходовые тележки крана) осуществляется за счет подачи трехфазного тока на электродвигатели лебедок от дизель-генераторных установок. Предлагается произвести замену приводов механизмов крана на гид-

равлические путем установки насосных станций и гидромоторов на основных исполнительных механизмах. Конкурентными преимуществами предлагаемых решений являются:

- высокая удельная мощность гидропривода.
- относительно просто обеспечивается возможность бесступенчатого регулирования скорости выходного звена гидропривода в широком диапазоне.
- высокое быстродействие гидропривода.
- гидромотор имеет значительно меньшие вес и габариты, по сравнению с аналогичными параметрами электродвигателя.

Список литературы

1. *Соломонов С. А.* Путевые машины. – М.: Желдориздат, 2000. – 756 с.
2. *Башта Т. М.* Гидропривод и гидроавтоматика. - М.: Машиностроение, 1972. - 321 с.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ БАШЕННЫЙ КРАН ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Плахова Е.А.¹, Заярный С.Л.²

¹студент; ²к.т.н., к.т.н.

e-mail: ¹Shenja1991@mail.ru; ²technakon@yandex.ru

Кран определяет темпы производства работ, а, следовательно, и сроки ввода объекта в эксплуатацию. При строительстве зданий и сооружений с помощью кранов приходится поднимать различные материалы, монтировать железобетонные, стальные, деревянные детали и конструкции или целые укрупненные узлы, предварительно собранные вне здания.

Существующие на сегодняшний день образцы башенных кранов чрезвычайно дороги и не по карману большинству мелких фирм. Поэтому актуальной видится задача разработки специализированного крана, который отвечал всем необходимым требованиям, предъявляемым к кранам, используемым в малоэтажном строительстве, а также был доступным по цене.

Башенные краны для малоэтажного, или так называемого коттеджного строительства уже давно широко применяются в Западной Европе, где подавляющее большинство населения проживает в небольших домах или в коттеджах. С недавних пор данная техника становится востребованной также и в России и других странах бывшего СССР, на территории которых начинают массово возводиться дачные и городские коттеджные поселки.



Рис.1

При возведении одно-, двух- и трехэтажных зданий необходим кран, который бы осуществлял перемещение стройматериалов в пределах строительной площадки, а также подъем их на необходимую высоту. Наиболее часто для выполнения этих функций в малоэтажном строительстве используется автомобильный кран. Однако применение автомобильного крана имеет ряд недостатков. В первую очередь это стоимость, как самого крана, так и его амортизации. Приобретение такого крана часто может оказаться слишком дорогостоящим и нецелесообразным для небольшой организации или частного лица, а почасовая оплата работы связана также с рядом неудобств. Например, в случае сбоя производственного графика и непредвиденных задержек может возникнуть простой крана, что приведет к неоправданным финансовым затратам. Также нецелесообразно использовать автомобильный кран для небольших грузоподъемных операций, без которых не обходится ни одно строительство, таких, например, как подъем поддона с кирпичом на нужную высоту. Автокраны способны работать только вертикальной либо наклонной стелой и полезен только там, где строительные работы занимают от одного до нескольких дней. А в условиях плотной застройки автокран вообще сложно применять.

В течение всего процесса строительства количество подобных операций достаточно велико. Очевидно, что использование для строительства сравнительно недорогого крана, использование которого не ограничено по времени, позволит избежать данных проблем.



Рис.2

Критерии качества башенного крана. Критериев выбора башенных кранов много. Оценка параметров качества может быть количественной или качественной. Так, несомненно, на решение покупателя при выборе крана важное влияние оказывает соотношение цена/качество. Однако это соотношение чаще всего отражает только «вершину айсберга».

Проведем анализ уже существующих на сегодняшний день 5 башенных кранов и сравним их показатели с краном КБ-МС, предлагаемый нами в качестве специализированного башенного крана для малоэтажного строительства. Бальная оценка будет соответствовать от 0 до 5.

Цена. Сегодня на рынке большое количество различных типов башенных кранов с самыми различными ценами. По данным на 2014 г стоимость исследуемых нами кранов составляет: КБ-401 – 7500000руб, КБ-160 – 880000руб, MD 175 – 8415000руб, E 15/15 5000000руб, КБ-МС – 2300000руб.

Качество. Высокое качество изделий предопределяется различными факторами, основными из которых являются: факторы технического характера (конструктивные, технологические, метрологические и т. д.); факторы экономического характера (финансовые, нормативные, материальные и т.д.); факторы социального характера (организационные, правовые, кадровые и т.д.). Так кран E 15/15 компании Potain зарекомендовал себя на строительном рынке, как качественный, надежный, быстромонтируемый кран, за что получил максимальный балл в проводимом нами анализе.

Эффективность. Характеризует отношение затрат и результатов функционирования крана. В зависимости от того, какие затраты и особенно — какие результаты принимаются во внимание, можно говорить об экономической эффективности. В этой связи стоит отметить кран КБ-МС, стоимость которого составляет 2300000руб, аренда данного крана составляет 200000 руб. в месяц, таким образом, окупаемость данного крана равна году, что является существенным плюсом.

Стоимость эксплуатации и обслуживания. Немаловажную роль играет своевременное обслуживание башенного крана. При проведении технического обслуживания кранов, производится дефектовка механизмов и электрооборудования крана, крановых путей, регулировка, ремонт всевозможных узлов и устранение других дефектов и неисправностей.

Коррозия. Металлоконструкции кранов, находящиеся длительное время в эксплуатации, подвергаются коррозии, причем особенно интенсивно - при отсутствии должного ухода или при нарушении защитной пленки (окраски). Коррозия уменьшает площадь сечения металла, ухудшает способность его противостоять переменным и динамическим нагрузкам, повышает склонность конструкции к хрупкому разрушению, что является одной из основных причин аварий кранов. Оценивая данный показатель,

учитывался материал, из которого изготовлен кран, а именно его свойства и подверженность коррозии.

Диагностика. Для поддержания технических устройств в исправном состоянии и обеспечения должного уровня безопасности проводят диагностику башенного крана. Диагностика технического устройства проводится после истечения нормативного срока его эксплуатации, указанного в паспорте. Кроме того, проверка технического состояния устройства осуществляется в случае выявления дефектов его элементов, нарушения работы агрегатов, возникновения неисправностей. Поводом для проведения экспертизы также может стать аварийное состояние башенного крана. При оценке этого критерия особое внимание уделялось возможности исследования труднодоступных узлов крана.

Таблица 1

Критерии эффективности

Тип крана	Цена	Качество	Эффективность	Стоимость эксплуатации и обслуживания	Стоимость транспортировки и обслуживания	Общий показатель	Монтаж-демонтаж	Коррозия	Диагностика	Обобщенный показатель
КБ-401	2	3	4	2	3	3	3	4	4	28/9
КБ-160	3	4	4	3	3	4	4	4	4	33/9
MD 175	2	4	5	2	3	3	3	5	4	33/9
E 15/15	3	5	4	2	3	3	3	4	3	32/9
КБ-МС	5	4	5	4	5	4	5	4	3	39/9

Вывод. Приведенные данные свидетельствуют о том, что предлагаемый нами кран КБ-МС по своим характеристикам не уступает существующим на сегодняшний день прототипам, а по некоторым показателям лидирует, о чем свидетельствует обобщенный показатель.

Список литературы

1. Невзоров Л.А., Пазельский Г. Н., Романюха В. А. Учебник для сред, проф. —техн. училищ — М.: Высш. школа, 1980. - 326 с.
2. Чукичев А.В. Самоподъемные башенные краны – лучшее решение для малоэтажного строительства, "Все Краны" №09/09 2007 г.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН ПРИ НАЛИЧИИ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН

Подгорбунский Василий Александрович¹, Сероштан Владимир Иванович², Орехов Николай Андреевич³

¹Студент; ²Доцент, Кандидат технических наук; ³Доцент, Кандидат технических наук

e-mail: ¹vasily.podgorbunsky@yandex.ru; ²swi77@yandex.ru;
³n.orehow@yandex.ru

Подгорбунский В.А., Сероштан В.И., Орехов Н.А. Оценка работоспособности металлоконструкций грузоподъемных машин при наличии усталостных трещин. Калуга (2014), 13с. В данной статье исследуется процесс оценки работоспособности металлоконструкций грузоподъемных машин. Приведена методика действий при обнаружении в металлоконструкции грузоподъемной машины усталостных трещин, а так же обозначены основные пути их устранения. Предложен метод проверочного расчета металлоконструкций грузоподъемных машин. Данная статья является актуальной на сегодняшний день, носит научный характер. Адресована для Региональной Научно-технической конференции 2014 года.

Ключевые слова: Металлоконструкции, грузоподъемные машины, проверочный расчет, усталостные трещины, оценка работоспособности.

PERFORMANCE EVALUATION STRUCTURES LIFTING MACHINERY IN THE PRESENCE OF FATIGUE CRACKS

Podgorbunskij Vasilij Aleksandrovich¹, Seroshtan Vladimir Ivanovich², Orehov Nikolaj Andreevich³

¹Student; ²Docent, Kandidat tehniceskikh nauk; ³Docent, Kandidat tehniceskikh nauk

e-mail: ¹vasily.podgorbunsky@yandex.ru; ²swi77@yandex.ru;
³n.orehow@yandex.ru

This article explores the process of evaluating the structures of lifting machines. The methods of the actions taken upon detection in steel structures

lifting machines fatigue cracks and outlined the ways of their elimination. Proposed test method of calculation of steel load-lifting machines. This article is actual for today, is of a scientific nature. Addressed to the Regional Scientific-technical conference of 2014.

Keywords: *Metal constructions, load-lifting machines, check calculations, fatigue cracks, performance evaluation.*

В процессе эксплуатации в силу особенностей конструкции и действующих на них циклических нагрузок в металлоконструкциях ГПМ возникают усталостные трещины. Характер их развития бывает весьма разнообразен. При некоторых условиях возникновение трещины и её развитие происходит с большой скоростью. В этом случае конструкция разрушается почти мгновенно. В других случаях трещина возникает медленно, увеличивается, а затем останавливается в своём развитии, а в некоторых случаях развивается с определённой скоростью, зависящей от интенсивности эксплуатации ГПМ.

Теоритические предпосылки оценки работоспособности металлоконструкции при наличии усталостных трещин основываются следующими соображениями. Наиболее характерными является случаи появления трещины, с которой металлоконструкция работает определённое время до её обнаружения при очередном профилактическом осмотре. В этом случае необходимо определить, остановилось ли ее развитие или же в конструкции созданы некоторые стационарные условия для ее роста. Решение вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации металлоконструкции ГПМ возможно принять на основе исследования поведения кинетики усталостной трещины.

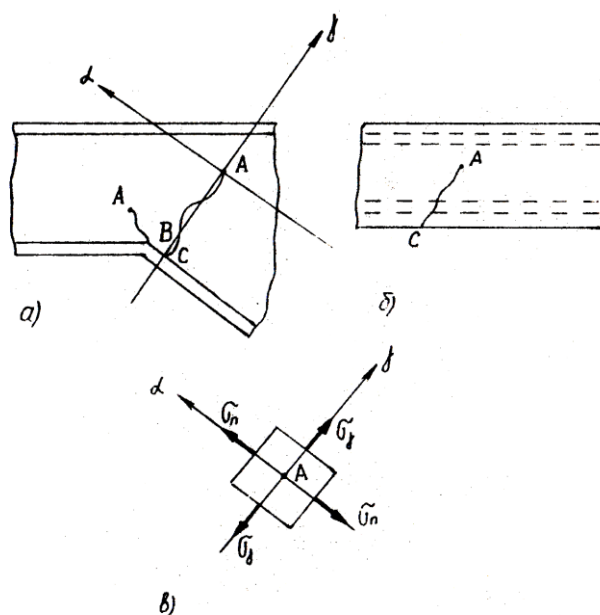


Рис.1

При наличии усталостной трещины в листовых элементах металлоконструкции в окрестностях вершин трещины (рис.1, точки А и В) возникает контур концентрации напряжений. В острие вершины трещины возникает пиковое напряжение σ_n , которое автоматически ориентирует развитие трещин в перпендикулярном направлении. Пока напряжение σ_n меньше предела стесненной текучести σ_{mc} его величина определяется коэффициентом напряжений K_σ . Если действующее напряжение, например в точке А, при отсутствии трещины, равно σ_∂ , то величина σ_n определяется по формуле

$$\sigma_n = K_\sigma \sigma_\partial. \quad (1)$$

В случае известных напряжений σ_∂ и σ_n коэффициент концентрации напряжений

$$K_\sigma = \frac{\sigma_n}{\sigma_\partial}, \quad (2)$$

определяется тангенсом угла α_σ между σ_∂ и σ_n (рис.2)

$$K_\sigma = \operatorname{tg} \alpha_\sigma. \quad (3)$$

Деформация в вершине трещины при работе элемента в упругой области

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_n}{E}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости стали.

Деформация в точке А при отсутствии трещины

$$\varepsilon_\partial = \frac{\sigma_\partial}{E}. \quad (5)$$

Обозначим

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_\partial} = K_\varepsilon = \operatorname{tg} \alpha_\varepsilon, \quad (6)$$

где K_ε коэффициент концентрации деформаций.

При работе элемента в упругой области $K_\sigma = K_\varepsilon$. Если работа элемента переходит из упругой в область пластических деформаций, то условие равенства коэффициентов нарушается, при этом $K_\sigma < K_\varepsilon$.

При этом условии вершина трещины окружена упругодеформированным материалом. При малых превышениях K_ε величины K_σ в острие вершины возникает пластически деформированный участок окруженный упруго деформированным материалом. Эта стадия называется ранней упругопластической стадией, при которой развитие трещины еще не происходит. Это явление называют притуплением вершины трещины, которое можно считать как предельное равновесие в системе, при котором трещина

не развивается. При $K_\varepsilon = K_{\text{нр}}$ можно записать $K_\sigma = K_{\text{нр}}$. Данное условие можно считать условием, при котором трещина в процессе эксплуатации элемента останавливается в своем развитии.

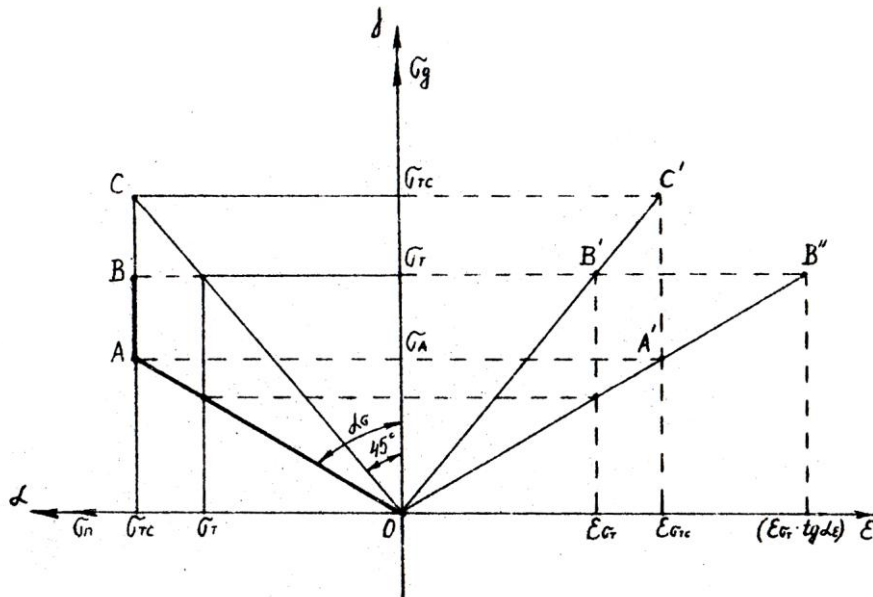


Рис.2

Для определения величины $K_{\text{нр}}$ строится график " $\sigma - \varepsilon$ " (рис.2) при условии равенства $\sigma_n = \sigma_\delta$. График представляет собой плоскость в которой σ_δ изменяется вблизи вершины трещины и достигает значения σ_n . При нагружении элемента напряжение σ_n изменяется по линии OA с углом наклона к σ_δ , равным α_σ . До достижения напряжением σ_n величины σ_{mc} процесс идет по прямой OA, элемент работает в условиях упругих деформаций, величина деформаций при этом изменяется по прямой OA графика $\sigma_\delta - \varepsilon$ (правая часть рис.2) и достигает значения $\varepsilon_{\text{ск}}$.

При достижении величины σ_n значения σ_{mc} и при дальнейшем увеличении нагрузки в вершине трещины появляется локальная область пластической деформации. При этом величина деформации не изменяется и остается постоянно равной $\varepsilon_{\text{сск}}$ до тех пор, пока напряжения в элементе в окрестностях за пределами области пластических деформаций не достигнут предела текучести σ_m . В этом случае начнется общая пластическая деформация элемента. Таким образом, можно считать, что при наличии трещины в элементе и известном значении коэффициента концентрации напряжений K_σ трещина не будет развиваться при условии, если напряжение в элементе по направлению развития трещин и за пределами области концентрации (точка A', рис.3) не будет превышать величины σ_A (рис.2, по оси σ_δ), а деформации - величины $\varepsilon_{\sigma_{mc}}$.

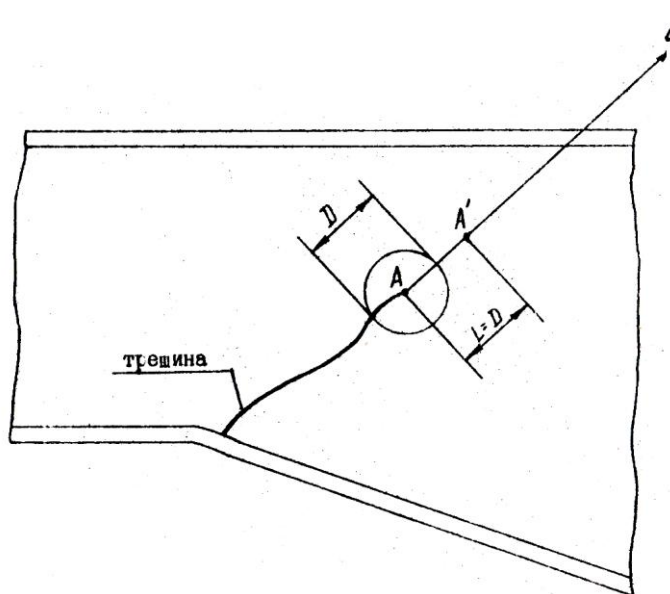


Рис.3

Область концентрации напряжений относительно вершины трещины приближённо определяется размером D (рис.3):

- $D > 0,16 \left(\frac{k_{\sigma}}{\sigma_T} \right)^2$ - для тонких листов (условие плоского напряженного состояния);

- $D > 0,5 \left(\frac{k_{\sigma}}{\sigma_T} \right)^2$ - для толстых листов (условие плоской деформации).

Исходя из вышеизложенного, предлагается следующая методика определения работоспособности металлоконструкций крана мостового типа, при наличии усталостных трещин:

- При обнаружении трещины ГПМ выводится из рабочей зоны и останавливается.

- По всей длине трещины снимается слой краски до металлического блеска на ширину не менее 20мм с каждой стороны. Около вершины трещины слой краски снимается в пределах размеров, указанных на рис.4.

- С помощью тензодатчиков (или иными средствами) определяется напряжение (датчики Д1 и Д2) в вершине трещины и на расстоянии не менее 70мм от вершины. Датчики должны быть расположены перпендикулярно линии развития трещины. При возможности следует использовать датчики в виде розеток с целью определения направления главных напряжений.

- В наименее выгодном положении тележки с грузом 1,25 от номинальной грузоподъемности ГПМ определяются напряжения σ_n (датчик

Д1) и σ_δ (датчик Д2), определяется максимальный изгибающий момент в данном сечении.

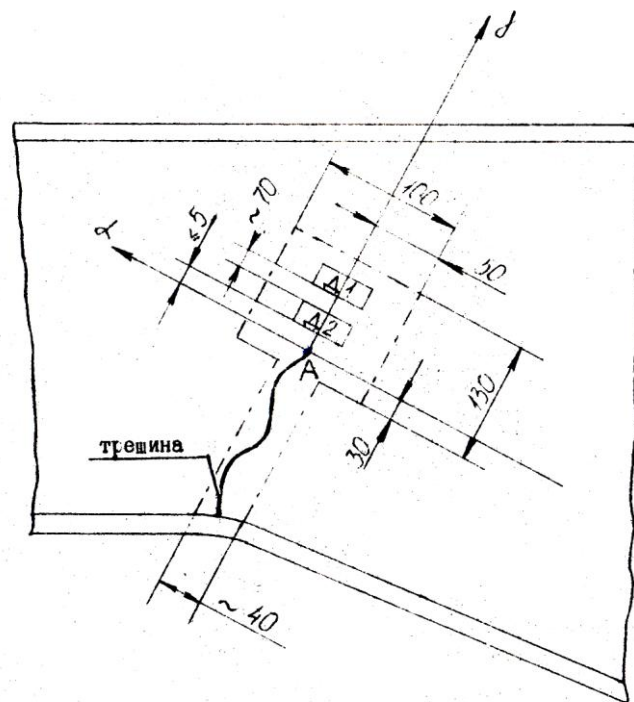


Рис.4

- Определяется расчетное напряжение в точке, где находится датчик Д2 в направлении, перпендикулярном направлению развития трещины σ_δ^{pac} .

- В случае, если замеренное напряжение σ_δ и расчетное σ_δ^{pac} отличаются не более, чем на 5%, определяется коэффициент концентрации напряжений по формуле (2).

Если разница в значениях σ_δ и σ_δ^{pac} более 5%, следует установить причину расхождения и провести новые измерения напряжений.

- Приближенное значение коэффициента концентрации может быть определено по формуле (7)

$$K_\sigma = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \left(\frac{l_2 - l_1}{c} \right), \quad (7)$$

при условии $l_2 - l_1 \geq c$, где σ_1 и σ_2 - максимальные напряжения в сечениях 1-1 и 2-2; l_1 и l_2 - высота сечения 1-1 и 2-2; c - расстояние между сечениями (рис.5).

- По полученным данным для материала элемента строится график в координатах $\sigma_\delta - \sigma_n$. Откладываем от оси σ_δ угол α_σ из условия выражения (3)-рис.2. Если действующее напряжение σ_δ не превышает напряжения σ_A , то отсюда следует, что развитие трещины остановилось. Если $\sigma_\delta > \sigma_A$, то трещина будет развиваться.

• Если условие $\sigma_{\partial} \leq \sigma_A$ соблюдается для данного элемента, то необходимо выполнить следующие этапы ремонта металлоконструкции:

а) в вершине трещины просветлить лист сверлом диаметром 15...20 мм, отверстие развернуть до образования чистой гладкой поверхности (можно шлифовать);

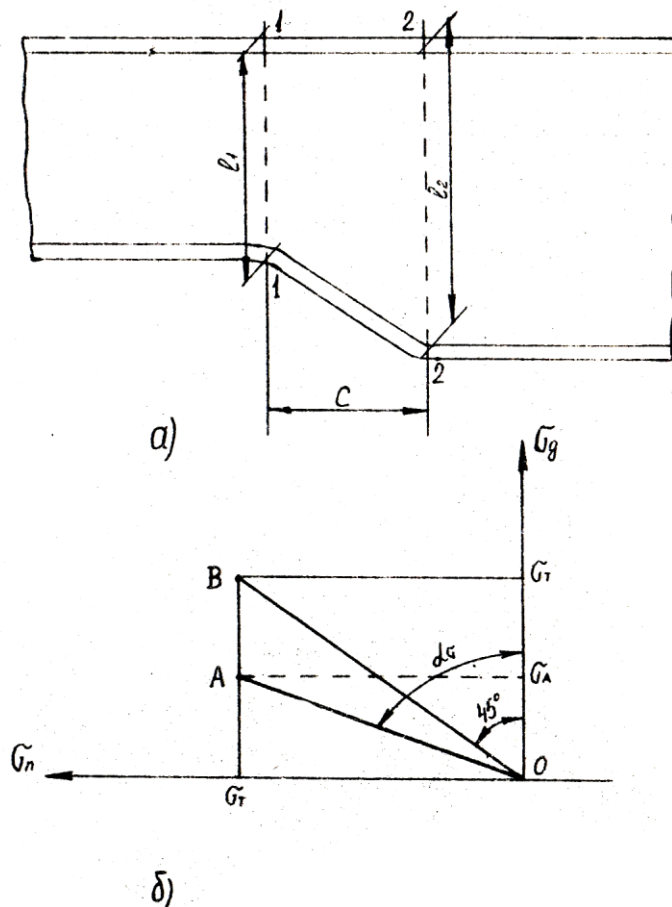


Рис.5

б) разделать кромки трещины и трещину заварить от начала до отверстия, отверстия не заваривать;

в) сварной шов зачистить заподлицо;

г) зачищенное место покрасить лаком, место обвести красной краской;

д) провести техническое переосвидетельствование крана, наблюдая в течении испытаний за заваренной трещиной;

е) после успешных испытаний организовать наблюдение за местом бывшей трещины, проводить осмотры не реже одного раза в месяц в течении первого года, затем один раз в полгода.

• Если условие в виде $\sigma_{\partial} > \sigma_A$ соблюдается, но $\sigma_{\partial} < \sigma_T$, то требуется снова провести исследования балки в месте появления трещины.

Как правило, трещины возникают в местах, где при нагружении крана волны деформации встречают на своем пути препятствия в виде изменений профиля сечений, изменения площади поперечного сечения, неравно-

мерного распределения напряжений в близких сечениях или отключений волны деформаций от прямолинейного пути. В существующих конструкциях, для остановки процесса развития трещины требуется проведение работ по частичному устранению причин и факторов, вызывающих это развитие. К таким работам чаще всего относится усиление конструкции, которое, прежде всего, снижает действующие напряжения σ_{δ} до условия $\sigma_{\delta} \leq \sigma_A$. В этом случае можно использовать несколько типовых технологий.

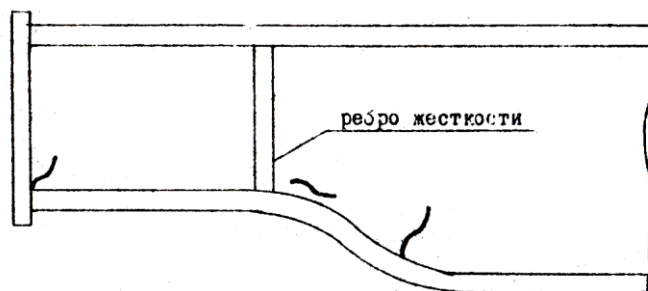


Рис.6

Типовые виды трещин в вертикальных листах балок приведены на рис.6. При ремонте убираются ребра жесткости, вершины трещин засверливаются, трещины разделяются и завариваются. После этого зачищаются сварные швы, вертикальные листы усиливаются накладками. Усиливается накладкой и поясной лист. Примеры ремонта приведены на рис.7.

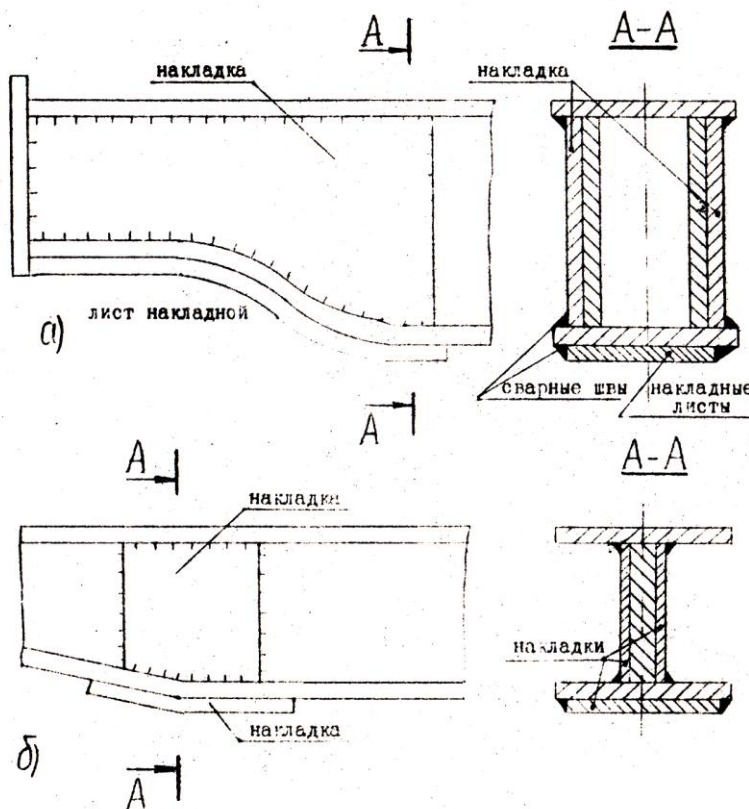


Рис.7

Накладки на вертикальные листы, как правило, должны быть на полную высоту балки. После приварки накладок восстанавливаются ребра жесткости.

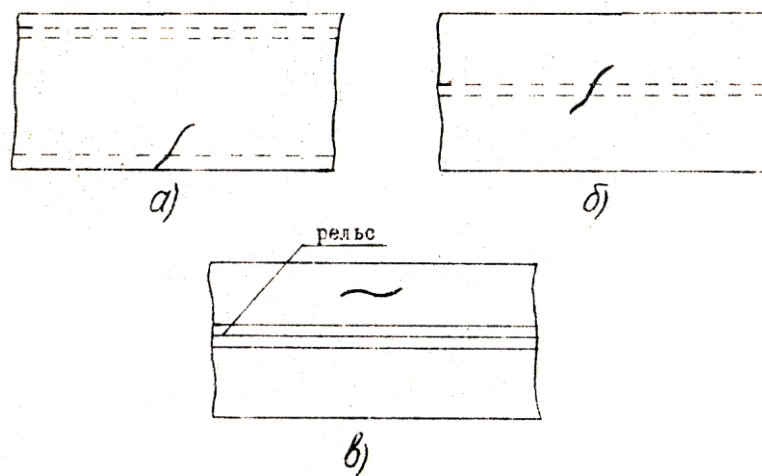


Рис.8

Типовые виды трещин в поясных листах приведены на рис.8. При ремонте вершины трещин засверливаются, трещины после разделки свариваются и зачищаются заподлицо. На месте трещины приваривается накладка из листа, толщина которой должна быть меньше примерно на 1/5 площади поясного листа. Форма накладок приведена на рис.9.

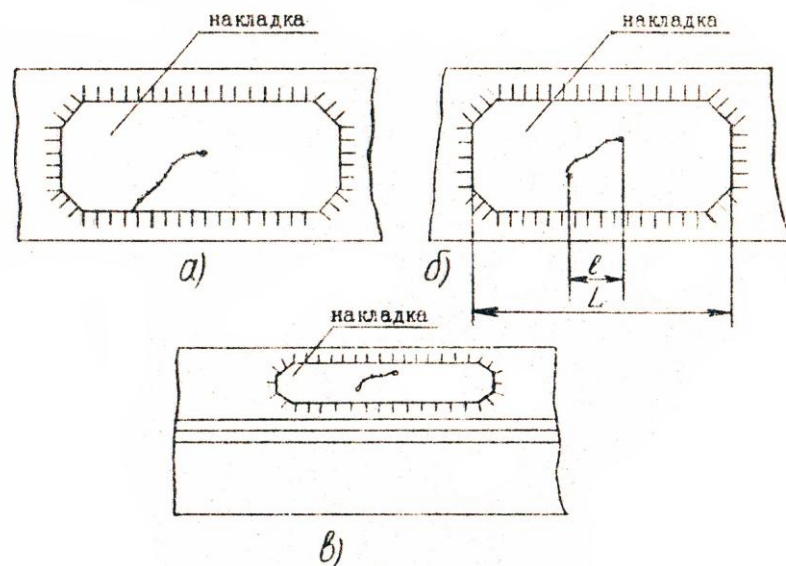


Рис.9

При возможности длина накладки должна быть не менее $2...3l$. Накладки приваривать по возможности с двух сторон балки симметрично.

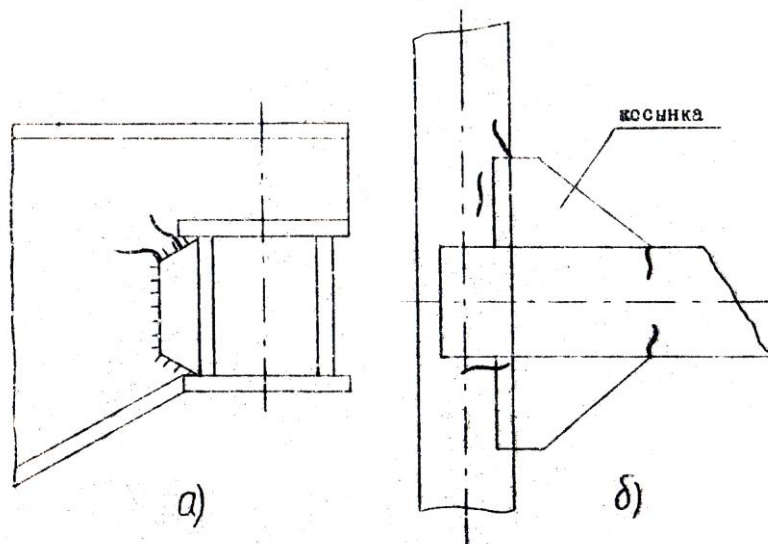


Рис.10

Типовые виды трещин в местах соединения двух балок приведены на рис.10. При ремонте узла соединения (рис. 10, а) вершины трещины засверливаются, трещины после разделки засверливаются. На место трещины приваривается накладка на вертикальный лист, к нижнему поясному листу также приваривается лист усиления (рис.11).

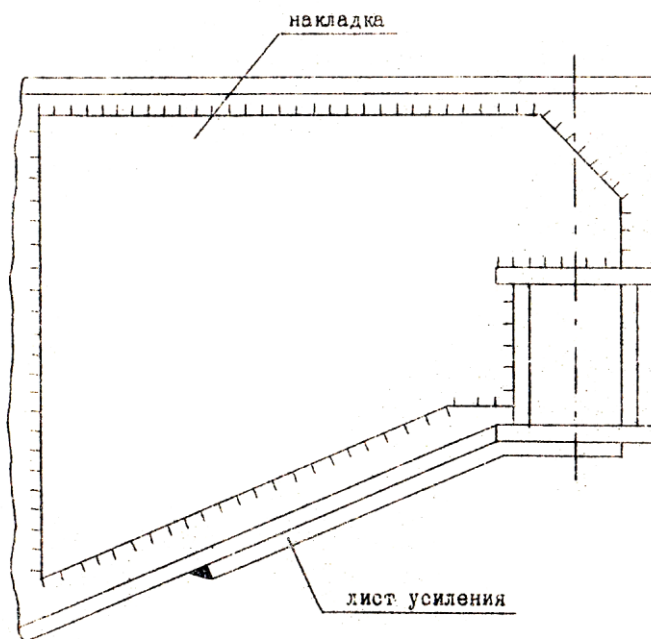


Рис.11

При ремонте узла (рис. 10, б) косынки убираются, вершины трещин засверливаются, трещины после разделки завариваются. На верхний лист балки, приваривается накладка, косынки привариваются большого размера (рис.12).

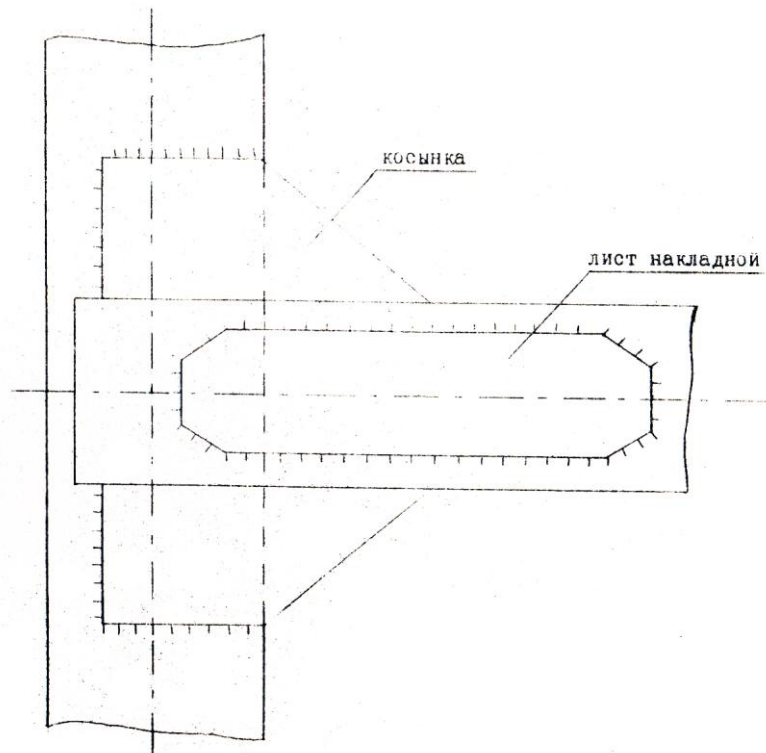


Рис.12

При ремонте узла с трещинами в местах крепления кронштейнов вершины трещин засверливаются, трещины после разделки завариваются. Место крепления кронштейна усиливается за счёт накладки на вертикальный лист балки и рёбер жёсткости (рис.13).

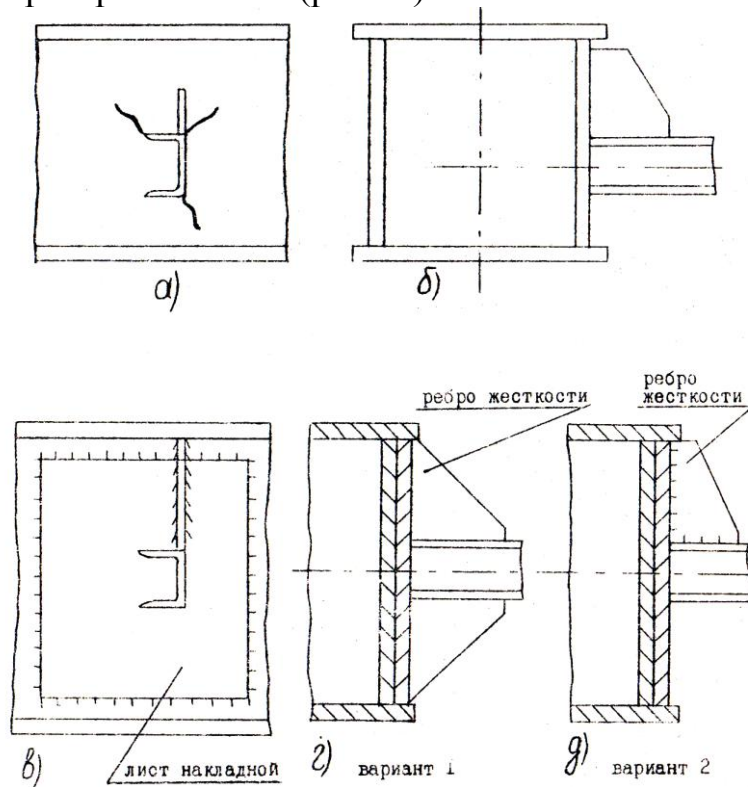


Рис.13

Одним из эффективных методов оценки работоспособности устаревших и усиленных металлоконструкций грузоподъемных машин (ГПМ) являются проверочные расчеты реальных металлоконструкций в действительном техническом состоянии. На практике фактическая нагруженность ГПМ часто не соответствует паспортному режиму работы. В результате длительной эксплуатации металлоконструкции подвергаются воздействию окружающей среды, претерпевают различного рода ремонты и реконструкции. Поэтому необходимо проверочные расчеты металлоконструкций вести по уточненным действительным эксплуатационным нагрузкам с учетом реальных воздействий окружающей среды и эксплуатационных факторов. Уточнение фактически действующих нагрузок возможно путем установления действительных режимов работы конкретной машины в конкретных условиях. Режим работы грузоподъемного крана обуславливается в основном режимом работы механизма главного подъема, по которому и рассчитываются металлические конструкции ГПМ.

Металлические конструкции ГПМ следует рассчитывать по методу предельных состояний. Предельным считается состояние, при котором эксплуатация ГПМ практически невозможна или технически нецелесообразна. Различают три группы предельных состояний:

- первая: по потере несущей способности и непригодности к эксплуатации от однократного воздействия максимальных нагрузок в результате нарушения прочности или устойчивости ГПМ или её элементов;

- вторая: по потере несущей способности или непригодности к нормальной эксплуатации при многократных воздействиях нагрузок различной величины, что вызывается разрушениями от усталости, износа или нагрева элементов крана;

- третья: по непригодности к нормальной эксплуатации вследствие недопустимых упругих деформаций и колебаний.

Для предотвращения наступления предельных состояний производятся соответствующие расчеты в зависимости от группы возможного предельного состояния:

- на прочность и устойчивость против однократных максимальных нагрузок в рабочем или нерабочем состояниях по первой группе, со следующим условием прочности:

$$\sigma_{\max} \leq R_v \gamma'_c, \quad (8)$$

где σ_{\max} – максимальное напряжение от расчетных нагрузок; γ'_c – коэффициент условий работы; R_v – расчетное сопротивление;

- на выносливость, износ или нагрев по второй группе, со следующим условием:

$$aR_v \gamma_v \leq \frac{R_u}{\gamma_u}, \quad (9)$$

где a, γ_v и R_v – коэффициенты и расчетное сопротивление элементов конструкции растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести; γ_u и R_u – коэффициент надежности и расчетное сопротивление элементов конструкции растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

- на упругие деформации или колебания по третьей группе, с данным условием:

$$f_{cm} \leq f_{пред}, \quad (10)$$

где f_{cm} и $f_{пред}$ – фактический и предельный прогибы элементов конструкции.

Достоверность проверочного расчета во многом определяется адекватностью коэффициента условий работы γ'_c , который учитывает: степень влияния повреждения на металлоконструкцию (γ_{c1}), возможность повреждения элементов в процессе эксплуатации или монтажа ГПМ (γ_{c2}) и возможные отклонения от условий действительной работы металлоконструкции или её элементов (γ_{c3}), т. е.:

$$\gamma'_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3}. \quad (11)$$

Если отказ связан с нарушениями функционирования или ограничениями работоспособностями конструкции с предупредительным признаком, то $\gamma_{c1} = 1$. При таком же отказе без предупредительного признака для конструкции в целом $\gamma_{c1} = 1$, для отдельных элементов $\lambda_{c1} = 0,85$, для крановых путей $\lambda_{c1} = 1$. Для элементов, отказ которых вызывает угрозу жизни человека или тяжелые технологические последствия и происходят с предупредительным признаком (вязкое разрушение) $\lambda_{c1} = 0,9$, а без предупредительного признака (хрупкое разрушение) $\lambda_{c1} = 0,6$. Если число перебазирок ГПМ не превышает двух, для вертикальных стенок и поясов металлоконструкций $\lambda_{c2} = 1$, для элементов ферм $\lambda_{c2} = 0,9$. При числе перебазирок ГПМ более двух λ_{c2} принимается равным соответственно 0,9 и 0,8.

Значения коэффициента неполноты расчета кранового моста λ_{c3} принимаются по табл. 1

Таблица 1

Коэффициент неполноты расчета

Тип кранового моста	Коэффициент неполноты расчета		
	Главные балки или фермы	Концевые балки	Вспомогательные фермы
Коробчатые без вспомогательной фермы	0,8	0,5	–
Коробчатые со вспомогательной фермой	1,2	0,5	0,45

Одностенчатые с двутавровой главной балкой	1,1	0,5	0,55
Решетчатые с фасонными фермами	1,1	0,5	0,55

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аснис А.Е., Иващенко Г.А. Повышение прочности сварных конструкций. 2-е издание. Киев: Паукова думка, 1985. – 253 с.
2. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надёжность подъемно-транспортных машин. Ленинград: Машиностроение 1986. – 184 с.
3. Вершинский А.В. Технологичность и несущая способность крановых металлоконструкций. - М.: Машиностроение, 1984 -167 с.
4. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин и др.: Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.
5. Концевой Е.М., Розенштейн Б.М. Ремонт крановых металлоконструкций. - М.: Машиностроение, 1979, - 206 с.
6. Пустовой В.Н. Диагностирование металлоконструкций портовых перегрузок машин. – М.: Транспорт, 1987, - 176 с.
7. Соколов С.А., Карзов Г.П. Прочность и долговечность металлических конструкций ГПМ. Учебное пособие. – Ленинград, ЛПИ, 1989, - 88 с.
8. Справочник по кранам: В 2 т. Т1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлоконструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. Ред. М.М. Гохберга – М.: Машиностроение, 1988 – 556 с.
9. Справочное пособие по ремонту металлоконструкций грузоподъемных кранов / А.А. Короткий, М.Н. Хальфин, Б.Ф. Иванов, А.С. Логвинов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994, - 180 с.
10. Юшкевич В.Н. Метод расчета пределов выносливости элементов металлоконструкций // Проблемы прочности. – 1984. -№9. – с. 13-18.
11. Яхнин Р.Н. Ремонт металлоконструкций мостовых кранов. – М.: Металлургия, 1990, - 96 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ КАЧАЮЩИХСЯ ВИБРАЦИОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Бауков И. А.¹, Борискина З. М.², Витушкина Е. А.³

¹студент; ²доцент, к.т.н.; ³старший преподаватель

e-mail: ¹metrostation@yandex.ru; ²metrostation@yandex.ru;
³metrostation@yandex.ru

Особенностью виброперемещения в качающихся вибрационных конвейерах является большое разнообразие установившихся режимов. Наибольший интерес представляют режимы безотрывного движения частицы по вибрирующей плоскости, в этом случае частица перемещается, не отрываясь от неё. Данные исследования режимов установившегося движения необходимы для совершенствования качающихся конвейеров, т. е. разработки оптимальных конструкций для высокопроизводительного транспортирования грузов.

В предыдущей работе проведено исследование движения частиц при действии дополнительного силового поля в качающемся вибрационном конвейере [2].

Из условия относительного равновесия частицы по плоскости, найдены граничные условия движения вперёд и назад, определено условие безотрывного движения и фазовые углы, когда частица, находившаяся на плоскости будет двигаться вперёд или назад и выявлена зависимость от параметров дополнительного силового поля.

Значительный интерес представляет проведение анализа характерных режимов, моментов перехода от одного этапа движения к другому, но с учётом сложного силового поля, F_x , F_y .

Более подробнее остановимся на режиме вибрационного конвейера, т. е. безотрывного движения, когда нормальная составляющая

$$N = mg \cos \alpha - mA \omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t - F_y \quad (1)$$

будет положительной. Область фазовых углов, отвечающую этому условию, определена интервалом первого рода. Внутри интервала возможны три принципиально различных вида движения:

- скольжение вперёд $\sin \omega t > Z_+$ (2)

- скольжение назад $\text{sign} \left[\frac{\pi}{2} - (\beta + \rho) \right] (Z_- - \sin \omega t) > 0$ (3)

- относительный покой

$$\sin \omega t < Z_+$$

$$\text{sign} \left[\frac{\pi}{2} - (\beta + \rho) \right] (Z_- - \sin \alpha t) > 0 \quad (4)$$

Соответственно этим видам движения разобьём интервал на три подинтервала I_+ , I_- , I_0 [2].

Совместный анализ, выраженный (2-4) позволяет сделать вывод о том, что параметры данного сложного поля оказывают определённое влияние на величину Z_{\pm} и соответственно на условия существования подинтервалов I_+ , I_- , I_0 . Анализируя возможные установившиеся режимы безотрывного вибротранспортирования, можно предположить существование связи между параметрами F_x и F_y и характером движения частицы по вибрирующей плоскости. Соответственно при определённом сочетании этих параметров частицы будут двигаться вперёд, при другом сочетании – назад.

Следует заметить, что на скольжение частиц существенное влияние оказывают параметры сложного поля и плотность частиц.

Наиболее существенное влияние на режим движения частиц оказывает горизонтальная составляющая скорости воздушного потока. С увеличением составляющей V_x коэффициента Z возрастает и может оказаться больше единицы. Движение частицы вперёд прекращается.

Коэффициент Z_- при нулевых параметрах сложного силового поля, больше единицы, что свидетельствует об отсутствии движения назад. По мере возрастания V_x коэффициент уменьшается и может стать меньше единицы, при этом частица начинает двигаться назад. Увеличение вертикальной составляющей скорости способствует более позднему прекращению движения вперёд и более раннему скольжению назад.

Каждый из интервалов I с режимом скольжения можно разбить на два подинтервала. Каждый из промежутков времени, когда попавшая на вибрирующую плоскость частица мгновенно начинает скользить вперёд называем I_{1+} , когда остановившаяся частица мгновенно скользит назад обозначают I_{1-} , через I_{10} обозначим промежутки времени, в каждый момент которых остановившаяся частица будет находиться в состоянии относительного покоя в течение некоторого времени, до момента перехода к подинтервалу I_{1+} или I_{1-} . Подинтервал I_{1+} можно определить следующим образом, учитывая предыдущие исследования [2, 3]

$$\sin \alpha t > Z_0.$$

Следовательно для подинтервалов I_{1-}

$$\sigma_1 (Z_{1-} - \sin \alpha t) > 0.$$

$$\text{где } \sigma_1 = \text{sign} \left[\frac{\pi}{2} - (\beta + \rho) \right].$$

Неравенства, которым удовлетворяют моменты времени t , принадлежащим подинтервалом I_{10} , имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \sin \omega t &< Z_0 \\ \sigma_1(Z_{1-} - \sin \omega t) &< 0. \end{aligned}$$

Границы интервалов и подинтервалов находятся из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \delta_0 &= \arcsin Z_0, \\ \delta_{1+} &= \arcsin Z_{1+}, \\ \delta_{1-} &= \begin{cases} \pi - \arcsin Z_{1-} & \text{ïðå } \sigma_1 = 1 \\ \arcsin Z_{1-} & \text{ïðå } \sigma_1 = -1 \end{cases} \end{aligned}$$

где под $\arcsin Z$ подразумевается главное значение функции, лежащее в пределах $\left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$. Разбиение времени на интервалы и подинтервалы позволяют произвести анализ возможных видов установившихся режимов.

Учитывая необходимость транспортирования тяжёлых частиц вверх по наклонной плоскости, примем следующие дополнительные ограничения.

Угол наклона плоскости меньше угла трения $\alpha < \rho$.

Сумма угла наклона вибрирующей плоскости и угла вибрации $\alpha + \beta < \frac{\pi}{2}$.

Уравнение может быть приведено к виду:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos \rho} - \frac{g \sin(\alpha \pm \rho)}{\cos \rho} - K_x \pm K_y \operatorname{tg} \rho, \quad (5)$$

верхние знаки соответствуют движению ($\dot{x} > 0$) вперёд, а нижние – скольжению назад ($\dot{x} < 0$).

Интегрируя выражение (5) при начальных условиях $t = t^*$, $x = \dot{x}^*$ и $x^* = 0$, получим выражение скорости скольжения:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -g \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{\cos \rho} (t - t^*) - A\omega (\cos \omega t - \cos \omega t^*) \cdot \frac{\cos(\beta \mp \rho)}{\cos \rho} - K_x (t - t^*) \pm \\ &\pm K_y \operatorname{tg} \rho (t - t^*) + \dot{x}^*. \end{aligned} \quad (6)$$

Соответственно координата частицы:

$$x = -g \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{2 \cos \rho} (t - t^*)^2 - A \frac{\cos(\beta \mp \rho)}{\cos \rho} \cdot (\sin \omega t - \sin \omega t^*) + \dot{x}^* (t - t^*) + A \omega \frac{\cos(\beta \pm \rho)}{\cos \rho} \cos \omega t^* (t - t^*) - \frac{K_x}{2} (t - t^*)^2 \pm \frac{K_y}{2} \operatorname{tg} \rho (t - t^*)^2 \quad (7)$$

Выражение (6) и (7) определяют движение частицы в одном направлении до её остановки, когда этап скольжения сменяется промежутком покоя или скольжения в обратном направлении. Для анализа уравнение (6) запишем в виде

$$\dot{x} = \dot{x}^* - \frac{a}{\omega} (\cos \omega t - \cos \omega t^*) + d(t - t^*) \quad (8)$$

$$\text{где } a = \frac{A \omega^2 \cos(\beta \mp \rho)}{\cos \rho} \quad (9)$$

с учётом ограничений, накладываемых на углы α , β , ρ . Величина этого коэффициента всегда положительна

$$d = -\frac{g \sin(\alpha \pm \rho)}{\cos \rho} - K_x \pm K_y \operatorname{tg} \rho \quad (10)$$

Знак этого коэффициента меняется в зависимости от направления скольжения, и параметров сложного силового поля.

При движении вперёд $\dot{x} > 0$ возможны случаи, когда $d = 0$, $d < 0$, $d > 0$. Анализируя, приходим к выводу, что первому случаю соответствует критическое значение горизонтальной составляющей скорости.

$$d = 0; V_x = V_{x+}^c$$

Второму случаю – движение частицы без вибрации

$$d > 0; V_x < V_{x+}^c$$

и третьему – устойчивое безотрывное движение частицы

$$d < 0; V_x > V_{x+}^c$$

В интересующей нас области параметров дополнительного силового поля коэффициент d при движении вперёд всегда отрицательный.

Проведём исследование для движения назад, получим:

$$d = 0; V_x = V_{x-}^c$$

$$d > 0; V_x < V_{x-}^c$$

$$d < 0; V_x > V_{x-}^c$$

Устойчивому режиму безотрывного движения частицы по плоскости соответствует второй случай, знак коэффициента d при движении назад положительный.

При безотрывном вибротранспортировании частицы возможны следующие установившиеся режимы [1].

Скольжение частицы вперёд и назад с двумя длительными остановками в каждом периоде. Скольжение вперёд и назад с двумя мгновенными остановками в каждом периоде. Скольжение вперёд и назад с одной длительной и одной мгновенной остановкой в каждом периоде. В режиме 3А – после скольжения вперёд, а в режиме 3Б – после скольжения назад. Скольжение в одном направлении с одной длительной остановкой в каждом периоде. Скольжение частиц только вперёд в режиме 4А, и только назад в режиме 4Б.

Анализируя режимы движения частицы в качающемся вибрационном конвейере при применении для сепарирования или для разделения частиц, наиболее оптимальным являются режимы 4А и 4Б.

Список литературы

1. *Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю.* Вибрационное перемещение. — М.: Изд-во Наука, 1964. — 412 с.
2. *Борискина З.М., Плахова Е.А.* Сборник научных трудов. — 2012. — №2. — С.86–89.
3. *Борискина З.М., Раевский В.А., Плахова Е.А.* Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы. Материалы XVII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.- Москва, 4 апреля 2013 год. С.90-92.

МЕХАНИЧЕСКИЙ СТАЦИОНАРНЫЙ КРАН ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Заярный С.Л.¹, Бачкала Т.А.²

¹доцент, к.т.н.; ²студент, студент
e-mail: ¹texnakon@ya.ru; ²bachkala@ya.ru

В настоящее время строительно-монтажные работы при малоэтажном строительстве недостаточно механизированы. Для их выполнения привлекаются автомобильные краны, применение которых плохо вписывается в логистическую систему обеспечения строительно-монтажных работ. Поэтому актуально использование при малоэтажном строительстве специализированных стационарных башенных кранов. Основными требованиями к которым являются: малая стоимость, простота управления, обеспечение их монтажа-демонтажа без использования специального оборудования. Востребованность специализированных башенных кранов для малоэтажного строительства определяется техническими преимуществами и экономической целесообразностью по сравнению с использованием автомобильных кранов.

Существующие на рынке образцы чрезвычайно дороги для российских потребителей, так как для повышения мобильности крана и ускорения монтажа в них встроены дорогие гидравлические системы. В предлагаемом проекте предполагается разработка башенного крана, который был бы настолько же мобилен, у которого была бы такая же скорость монтажа, как у современных европейских систем. Но при этом предполагается заменить дорогую гидравлику простыми механическими системами. Работы в этом направлении нами ведутся уже более полугода, проект находится на стадии разработки.

На строительную площадку части крана привозятся на эвакуаторе и им же собираются в монтажное положение. Каждая часть крана имеет массу не более 200 кг, таким образом для соединения частей крана на площадке не требуется тяжелый автомобильный кран.

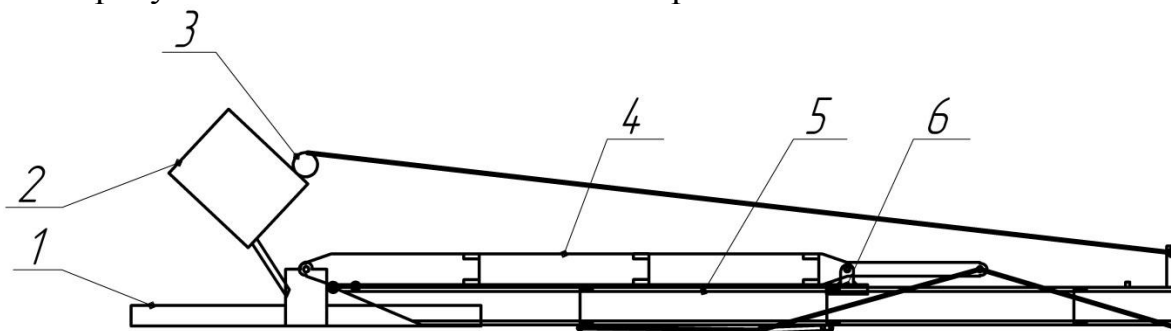


Рис. 1

На Рис.1 изображено монтажное положение крана, где 1 – опора, 2 – предварительно заряженный противовес, 3 – монтажная лебёдка, 4 – башня крана, 5 – стрела крана, 6 – шарнирная каретка.

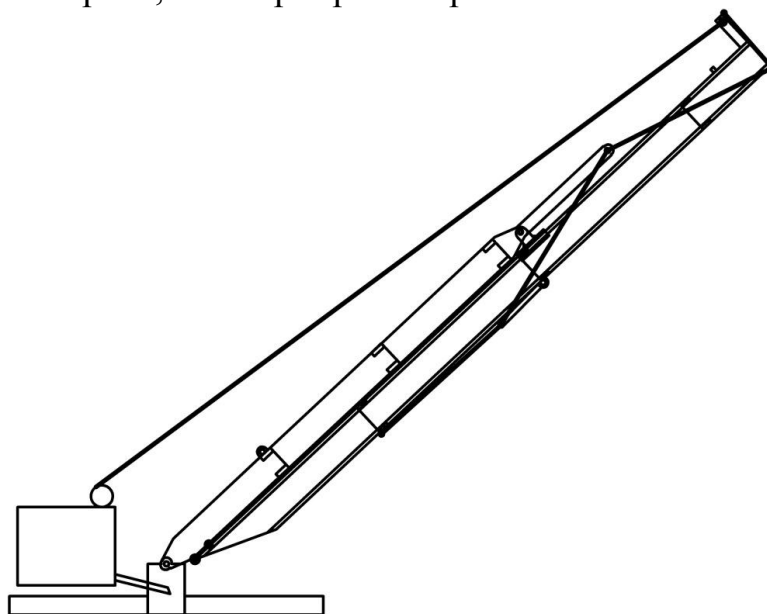


Рис.2

Когда на площадке завершено соединение секций, предварительно заряженный противовес занимает своё рабочее положение. При этом конструкция переходит из монтажного положения в переходное (Рис.2).

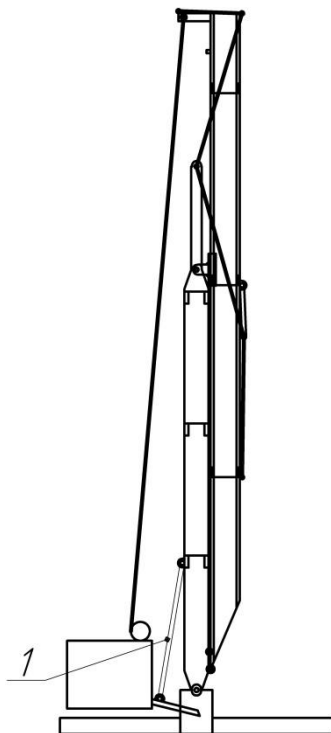


Рис.3

Из переходного положения в рабочее положение башни (Рис.3) конструкция переводится с помощью монтажной лебёдки. В этом положении башня закрепляется распоркой (Поз. 1).

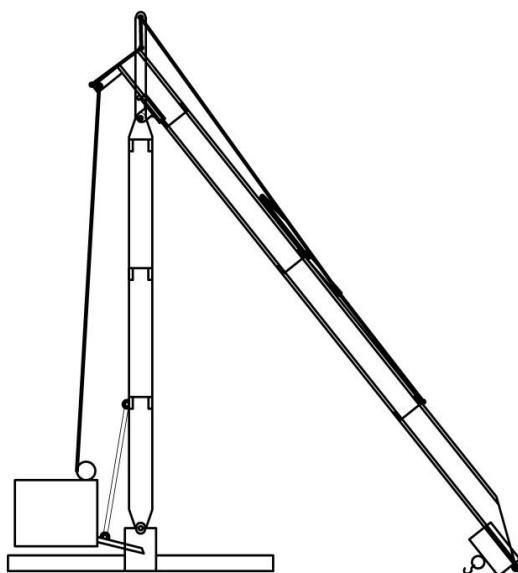


Рис.4

Затем монтажная лебёдка переводит стрелу крана в рабочее положение, как изображено на Рис.4. При этом стрела проворачивается на башне и скользит относительно неё при помощи шарнирной каретки (Поз.6 на Рис.1).

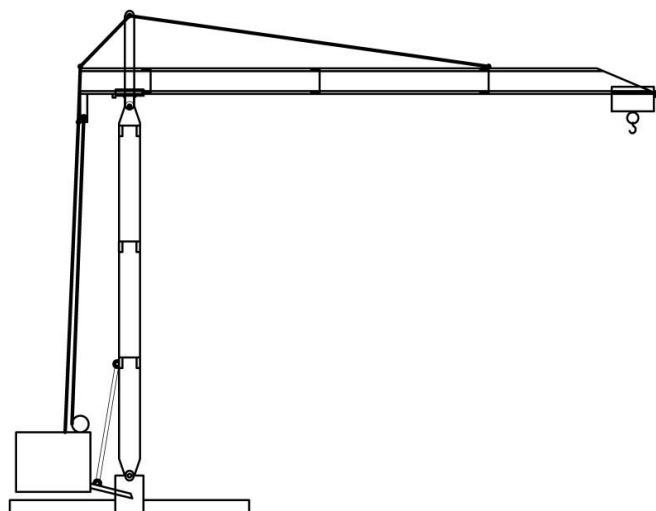


Рис.5

Рабочее положение башенного крана изображено на Рис.5.

Разработка концепции механического стационарного крана для малоэтажного строительства продолжалась год, за это время было проработано множество вариантов компоновки конструкции. Изготовление разработанной конструкции обойдётся производителю в 1 млн. рублей. Таким образом, нами достигнута первоначальная цель значительно снизить себестоимость изготовления крана, для того, чтобы сделать его более доступным российским застройщикам. При этом, предложенная конструкция имеет те же возможности, что и европейские аналоги, однако более приспособлена под климатические условия России, так как европейские модели предна-

значены для работы при температуре окружающего воздуха до -25°C , а предложенная конструкция – до -40°C .

Список литературы

1. *Соколов С.А.* Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005. – 423с.: ил.
2. Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций. Под ред. *Александрова М.П., Решетова Д.Н.* – М.: «Машиностроение», 1973. - 256с.
3. *Гохберг М. М.* Металлические конструкции подъемно-транспортных машин., изд-во «Машиностроение». 1969 г.,520 стр. Табл. 47. Илл.226. Библ. 157 назв.
4. РД 22-166-86 «Краны башенные строительные. Нормы расчета.
5. *Петухов П. З., Ксюнин Г. П., Серлин Л. Г.* Специальные краны. – М.: Машиностроение, 1985.
6. Справочник по кранам. В 2-х т. Т.1. Под ред. *Гохберга М. М.* – М.: Машиностроение, 1988.
7. *Абрамович И. И., Березин В. И., Яуре А. Г.* Грузоподъемные краны промышленных предприятий. – М.: Машиностроение, 1989.
8. *Файбишенко В. К.* Металлические конструкции: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1984.- 336 с., ил.

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ ОТ КОРРОЗИИ.

Федин Руслан Андреевич¹, Ермоленко Владимир Алексеевич²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹rueskimo@gmail.com; ²ermolenko@rambler.ru

Защита металлоконструкций кранов от коррозии.

Техническое состояние механического объекта, как известно, определяется самой конструкцией объекта и возмущающим воздействием на нее со стороны внешней среды. Так в процессе эксплуатации объекты подвергаются сильным коррозионным воздействиям атмосферных факторов, воды различной солености, в результате чего происходит разрушение конструкции корпуса, отдельных его элементов, ухудшение эксплуатационных качеств, прочности, эргономичности, безопасности эксплуатации.

Потери металла и вышедших из строя металлических конструкций, изделий и оборудования в следствии коррозии составляют до 20% годового производства металла. В большинстве случаев для протекания коррозии необходимы: кислород, вода и металл, поэтому коррозия происходит практически всегда и осуществляется по законам природы. Её нельзя устранить полностью, но можно её замедлить.

По механизму протекания данный вид коррозии в большинстве случаев является электрохимическим процессом, за исключением «сухой» коррозии, протекающей по химическому механизму. Электрохимический процесс подразумевает наличие на корродирующей поверхности катодных и анодных участков, а также электролита, роль которого выполняет пленка влаги (толщиной от нескольких молекулярных слоев до одного миллиметра), постоянно присутствующая на поверхности металла. Возникновение гальванических элементов «катод – анод» на основных конструкционных материалах – углеродистых сталях происходит из-за дифференциации их поверхности на участки с различными электродными потенциалами (теория локальных коррозионных элементов).

Причины дифференциации могут быть различны: 1) Неоднородность структуры металла (в углеродистых сталях присутствуют фазы – феррит и цементит, структурные составляющие – перлит, цементит и феррит, имеющие различные электродные потенциалы); 2) Наличие на поверхности сталей оксидных пленок, загрязнений и неметаллических включений; 3) Неравномерное распределение окислителя на границе «металл-электролит», например, различная влажность и аэрация на различных участках поверхности металла; 4) Неравномерность распределения температуры; 5) контакт разнородных металлов.

На рис. 1 приведена качественная зависимость скорости атмосферной коррозии металлов от толщины слоя влаги на поверхности корродирующего металла, где 1 – область сухой атмосферной коррозии [$h=1-10\text{нм}$]; 2 – область влажной атмосферной коррозии [$h=0.01-1\text{нм}$]; 3 – область мокрой атмосферной коррозии [$h=1\text{мкм}-1\text{мм}$].

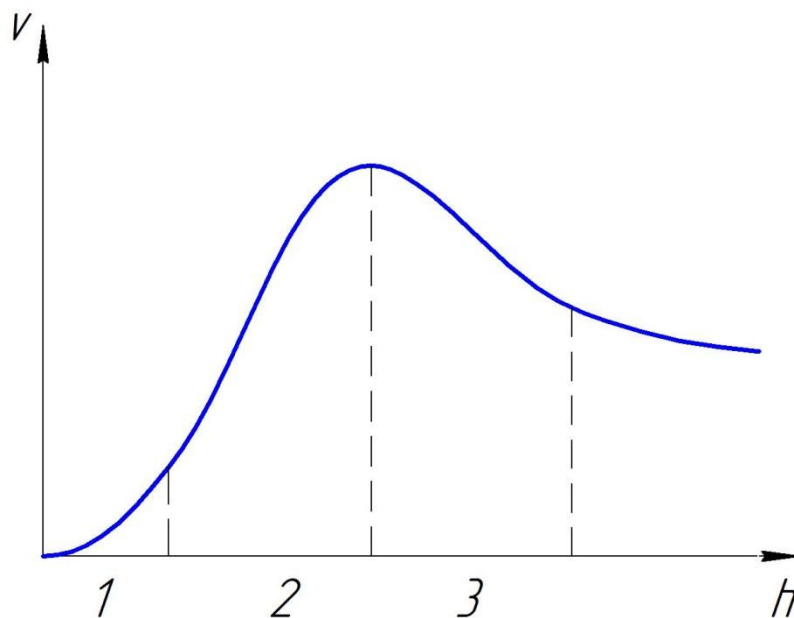


рис. 1

При оценке технического состояния конструкций, пораженных коррозией, прежде всего, необходимо определить вид коррозии. Это дает возможность разработать наиболее обоснованные мероприятия по восстановлению не сущей способности и защите конструкций от коррозии. По характеру разрушения поверхности металлоконструкций кранов можно выделить следующие основные виды коррозии:

- 1) Сплошная (равномерная) коррозия - характеризуется относительно равномерным по всей поверхности уменьшением толщины сечен и я элемента. Она обусловлена равномерным воздействием внешней среды на всю поверхность конструкции.
- 2) Местная или локальная коррозия - сосредоточена на отдельных участках поверхности металла. Локальная коррозия обычно обусловлена повышением агрессивности среды на локальных участках вследствие попадания на поверхность конструкции конденсата, атмосферной влаги, локального накопления или отложения солей.
- 3) Язвенная коррозия - вид коррозии, характеризующийся появлением на поверхности конструкции повреждений, глубина и поперечные размеры которых соизмеримы (до не скольких миллиметров).

Местная или язвенная коррозия может развиваться под слоем защитного покрытия. Такую форму коррозии называют подплёночной коррозией. Подплёночная коррозия нарушает адгезию защитного покрытия.

Адгезия — сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел.

На корродирующей поверхности, как правило, могут присутствовать одновременно различные виды коррозионных повреждений. Со временем на одном и том же участке поверхности возможен переход от одного вида коррозии в другой.

Для защиты металлических поверхностей от коррозии применяется антикоррозийная защита различных типов включающие грунтовки, противокоррозионные и покрывные эмали.

Основными показателями, которые определяют качество антикоррозионного покрытия, являются: адгезия; толщина; сплошность; долговечность, а именно: способность покрытия сохранять защитные свойства до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта; гибкость; атмосферостойкость. Толщина покрытий может изменяться от десятков до сотен микрометров в зависимости от их назначения.

К основным достоинствам лакокрасочных покрытий следует отнести:

- 1) Возможность применения для защиты любых конструкций, независимо от размера, непосредственно на монтажных и строительных площадках;
- 2) Простоту и возможность механизации технологического процесса нанесения покрытий;
- 3) Покрытия на большинстве металлоконструкций, могут ремонтироваться и восстанавливаться непосредственно в процессе эксплуатации;
- 4) Малый расход материала на единицу площади и низкая стоимость по сравнению с другими видами защитных покрытий.

Анализируя имеющиеся место случаи разрушения покрытий, можно сделать вывод, что их выход из строя (или утрата в значительной степени защитных свойств) может происходить по следующим причинам: 1) Выбор защитного покрытия или системы покрытий осуществляется без учета исполнения, категории размещения, условий эксплуатации, хранения и транспортирования металлоконструкций в части воздействия климатических факторов. 2) При выборе покрытий для защиты от атмосферной коррозии предпочтение отдается наиболее дешевым лакокрасочным материалам с изначально заложенными низкими сроками службы. Такие как материалы на масляной и битумной основе, которые уже через 2-3 года могут полностью утратить свои защитные свойства. При этом наиболее характерными дефектами следует считать растрескивание и шелушение покрытия, образование пузырей, коррозионных пятен и точек коррозии. 3) Нарушение технологии производства защитного покрытия. Для любого защитного покрытия, наносимого на поверхность, существует определенный регламент его производства, определяющий степень подготовки поверхности, максимальную и минимальную температуру производства работ, время послойной сушки и многие другие параметры процесса. Отклонение от парамет-

ров технологического процесса приводит к значительному снижению защитной способности покрытий и, как следствие, уменьшению сроков их службы.

Несмотря на имеющиеся место проблемы, возникающие при использовании лакокрасочных покрытий, следует признать, что данный способ был и остается наиболее доступным и экономически оправданным при защите металлоконструкций от атмосферной коррозии.

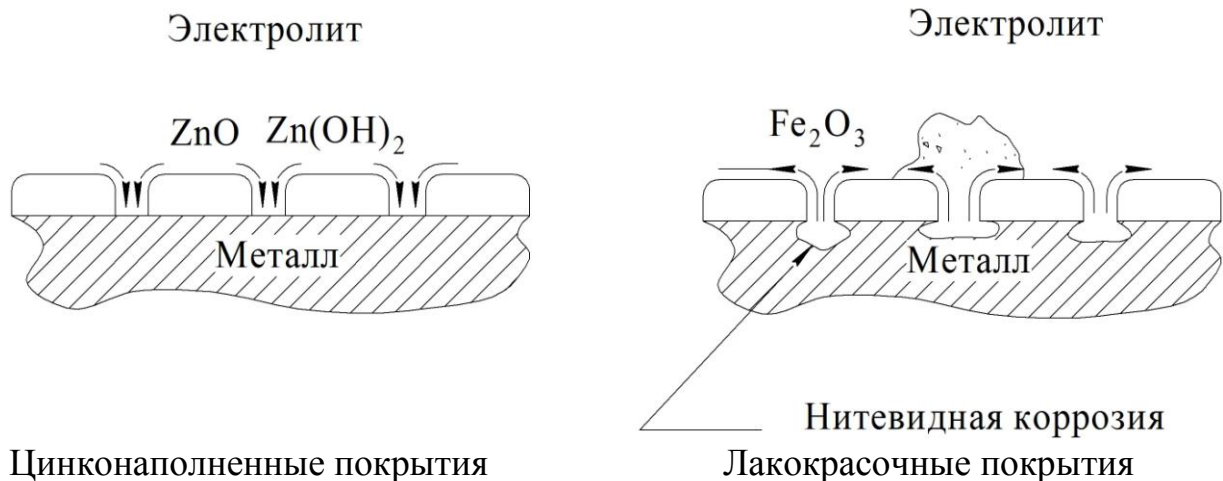
Компания Ви-Дей, предлагает инновационный продукт – Nanoprotech (нанопротек) Anticor prom. Нанопротек в своей основе – это высокоочищенное минеральное масло со специальными ингибиторами коррозии и разработанной для этого покрытия формулой «nanoprotech». Антикоррозионные вещества, входящие в состав нанопротек, обеспечивают защиту металла и любых металлических поверхностей и металлоконструкций на длительный срок.

ООО «Инновационные Технологии», разрабатывая нанопротек, добились поразительных результатов, которые и были воплощены в данном нано продукте. Основным отличием нанопокрывтия Nanoprotech является то, что нано частицы, которые взаимодействуют с компонентами антикоррозионного состава, ломают молекулярную решетку, и молекулы выстраиваются в ряды, слоями, что позволяет быть нанопокрывтию абсолютно непроницаемым к другим более крупным молекулам, таким как вода. После нанесения защитного покрытия нанопротек, отрицательное воздействие воды и влаги на металл – прекращается, что способствует остановки коррозии металла.

Для долговременной защиты промышленных и строительных металлоконструкций от коррозии ВМП предлагает комплексные системы лакокрасочных покрытий, производимые с учетом мирового опыта создания современных антикоррозионных материалов:

на основе цинкнаполненных лакокрасочных материалов;

Эти покрытия, благодаря высокому содержанию в них цинкового порошка (как правило, 85-96 %), обеспечивают надежную катодную защиту стали. Суть такой защиты заключается в том, что при воздействии агрессивной среды на стальную поверхность цинк окисляется, тем самым предотвращая коррозию стали. Таким образом, цинкнаполненные лакокрасочные материалы защищают металл от коррозии подобно покрытиям, наносимым способом горячего цинкования, а потому их применение получило название технологии «холодного» цинкования.



Холодное цинкование - это наиболее современный и простой способ долговременной антикоррозионной защиты металла, получивший всеобщее признание в мировой практике.

Покрытия, наносимые методом холодного цинкования обладают неоспоримыми преимуществами: 1) обеспечивают долговременную защиту металла от коррозии и по защитным свойствам не уступают традиционным цинковым покрытиям, наносимым методом горячего цинкования; 2) обладают стойкостью к перепадам температур и могут применяться в условиях холодного климата; 3) наносятся традиционными лакокрасочными способами, как в заводских, так и в полевых условиях;

Используемые в антикоррозионных системах, материалы обладают повышенными эксплуатационными и технологическими характеристиками, что достигается благодаря наличию в их составе: - высокоэффективных антикоррозионных пигментов, таких как цинковый порошок (протекторная защита), фосфат цинка (ингибирующая защита), алюминиевая пудра (барьерная защита); - химически- и атмосферостойких полимеров: эпоксидных и полиуретановых смол; - наполнителей со специальными эффектами и разнообразных вспомогательных добавок, предназначенных для оптимизации технологических свойств материалов.

К преимуществам систем покрытий ВМП можно отнести: - срок службы систем покрытий при эксплуатации в открытой атмосфере до 25 лет; - большинство материалов может наноситься при отрицательных температурах (до -15°C) и повышенной влажности воздуха; - окрасочные работы материалами ВМП производятся как в заводских, так и в полевых условиях; - все материалы наносятся обычными лакокрасочными методами: безвоздушным или пневматическим распылением, с применением кисти и валика.

Литература:

[1] <http://www.gosthelp.ru/text/RukovodstvoRukovodstvopoz.html> - «Руководство по защите металлоконструкций от коррозии и ремонту лакокрасочных покрытий металлических пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов»

[2] <http://www.ooosmp.ru/> - Анतिकоррозийная обработка как средство защиты от коррозии металлических изделий.

[3] <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2150> - Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»

[4] http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=398 - А.П. Гулидов, инженер, НПК «Вектор», к.т.н. Н.Ю. Тимофеева, МГУПП, каф. «Технология металлов»

[5] <http://nanokras.ru/blog/83/> - Защита металла от коррозии, защитные средства, антикоррозийная обработка металлоконструкций. Нанопротект - защита от влаги и коррозии промышленных предприятий!

[6] <http://vmp-holding.ru/protectmetall/> - Преимущества систем покрытий ВМП

[7] Н.П. Жук. Курс коррозии и защиты металлов. Москва, «Металлургия», 1968 г.

[8] Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений. Справочник под редакцией А.А. Герасименко. Москва, «Машиностроение», 1987.

[9] Лакокрасочные покрытия. Технология и оборудование. Под редакцией А.М. Елисаветского. Москва, «Химия», 1992.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯГОВОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИФТОВОГО КАНАТОВЕДУЩЕГО ШКИВА

Федоров А.В.¹, Витчук П.В.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹fedorov@nxt.ru; ²zzzventor@yandex.ru

На большинстве пассажирских лифтов и некоторых грузовых и грузопассажирских подъемников с противовесами в качестве подъемного механизма применяют лебедки с канатоведущим шкивом (КВШ). Канатоведущий шкив служит для передачи тягового усилия с лебедки на канаты лифта. В отличие от лебедок с тяговым барабаном канаты в лебедках с канатоведущим шкивом не прикрепляются жестко к тяговому органу, а укладываются с натяжением в ручьи различного профиля поперечного сечения, расположенные на ободке шкива так, что при вращении шкив перемещает канат за счет силы трения.

Основным критерием работоспособности канатоведущего шкива является величина его тяговой способности, которая зависит от приведенного коэффициента трения между рабочими поверхностями тягового каната и ручьями канатоведущего шкива, а также от угла обхвата его тяговым канатом. Приведенный коэффициент трения, в свою очередь, зависит от материалов, из которых изготовлены тяговые канаты и канатоведущий шкив, профиля поперечного сечения ручьев, а также степени их изношенности.

Сила трения между тяговым канатом и ручьем канатоведущего шкива тем больше, чем сильнее канат прижат к поверхности ручья, поэтому канатоведущие шкивы применяются только при наличии противовеса на втором конце перекинутых через него тяговых канатов. Масса противовеса выбирается из условия полного уравнивания кабины и части полезного груза или грузоподъемности (обычно 40-60 %).

Величина тяговой способности канатоведущего шкива аналитически оценивается коэффициентом тяговой способности $k_{ТС}$. Во избежание скольжения каната по шкиву необходимо соблюдение условия формулы (неравенства) Эйлера, которая имеет вид:

$$\frac{T_1}{T_2} C \leq e^{f\alpha} = k_{ТС}, \quad (1)$$

где T_1 и T_2 , кН – большая и меньшая сила натяжения тяговых канатов соответственно; f – приведенное значение коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья; C – коэффициент динамичности.

Несложный анализ зависимости (1) показывает следующие способы увеличения коэффициента тяговой способности:

1. Использование уравнивающих (компенсирующих) элементов (цепей, канатов, кабелей) для увеличения статического натяжения движущихся вниз тяговых канатов.

2. Увеличение угла обхвата тяговым канатом канатоведущего шкива.

3. Увеличение приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья.

Наиболее перспективным способом увеличения тяговой способности канатоведущего шкива является увеличение приведенного значения коэффициента трения между тяговым канатом и поверхностью ручья на основе футеровки ручьев неметаллическими вкладышами. Это позволяет получить требуемую тяговую способность даже при использовании ручьев полукруглого профиля поперечного сечения и небольших габаритах канатоведущего шкива.

Футеровка ручьев канатоведущих шкивов фрикционными материалами широко применяется в шахтных подъемных машинах. При этом могут использоваться дуб, прессмасса и полихлорвиниловый пластикат [3]. Статический коэффициент тяговой способности (коэффициент безопасности против скольжения) для этих материалов составляет от 1,3 до 1,5. Стоит отметить, что канатоведущие шкивы шахтных подъемных машин проверяются по условию нескольжения каната при статических нагрузках, так как величины ускорения и замедления в шахтных подъемниках не лимитируются и определяются при кинематических расчетах при пуске и торможении.

Канатоведущие шкивы, футерованные фрикционными материалами (полиуретан), были разработаны фирмами Кюерре (Германия) и Otis (США) (рис. 1), а также рядом ученых, но не получили распространения в силу определенных причин [1].

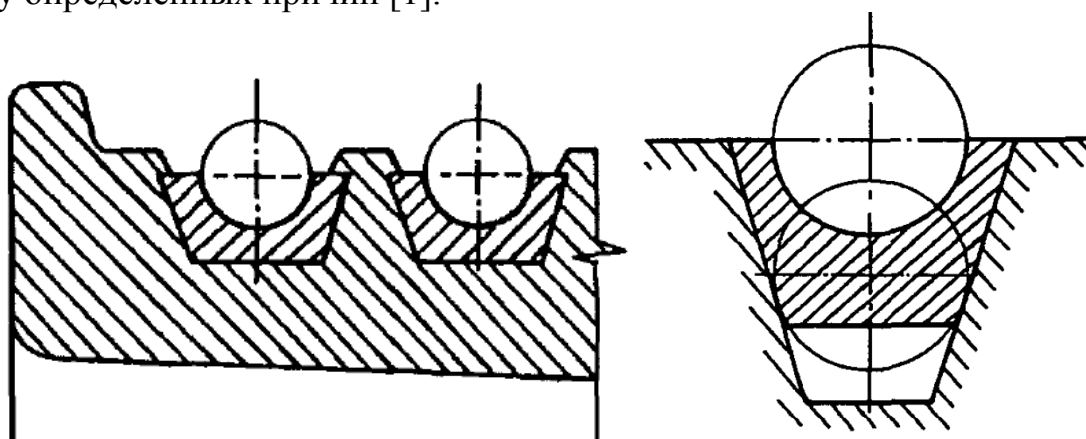


Рис. 1.

Одной из таких причин является невозможность точного аналитического определения приведенного значения коэффициента трения, расчет которого базируется на эмпирических и полуэмпирических зависимостях.

Поэтому применение существующих методов расчета возможно лишь при проведении предварительных расчетов.

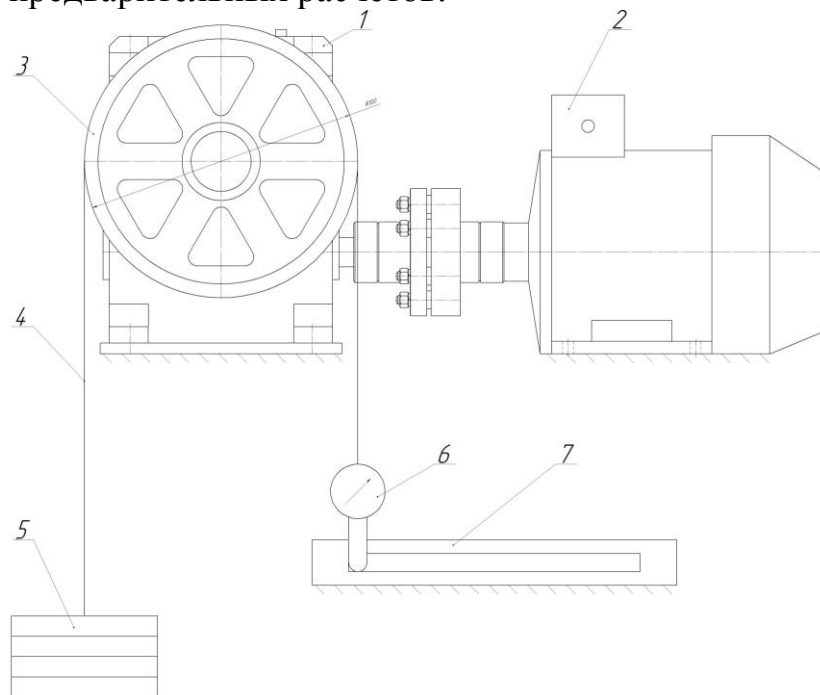


Рис. 2

Для определения фактического значения коэффициента тяговой способности предлагается установка (рис. 2), которая состоит из: редуктора 1 с приводом 2. Привод служит для проворачивания исследуемого образца канатоведущего шкива 3. Натяжение сбегавшей ветви каната 4 создается при помощи набора грузов 5. Натяжение набегающей ветви каната создается при помощи канатоведущего шкива и измеряется динамометром 6. Для изменения угла обхвата динамометр может перемещаться в горизонтальной рамке 7.

Список литературы

1. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание: -М.: Монография. Издательство АСВ, 2005. – 336 с.
2. Анцев В.Ю., Витчук П.В. Расчет параметров канатоведущего шкива лифта в процессе износа//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2-6 (292). С. 112-118.
3. Федорова З. М., Лукин И.Ф, Нестеров А.П. Подъемники. – Киев: Высшая школа, 1976 – 296 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНТАКТНОЙ КАСАТЕЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ.

Фомин А.А.¹, Заярный С.Л.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹hyperkrat@yandex.ru; ²texnakon@yandex.ru

Среди соединений деталей машин (СДМ) наибольшее распространение в машиностроительных конструкциях имеют шпоночные, шлицевые соединения, а также соединения с натягом. Проблема расширения области их применения, повышения работоспособности и долговечности и по-прежнему является важной научно-технической проблемой. Следует различать работоспособность СДМ при статических и динамических нагрузках. Нарушение работоспособности СДМ при статических нагрузках определяется условием его разрушения. Долговечность СДМ при динамических нагрузках определяется условием обеспечения их «неподвижности» в стыке. В общем случае СДМ можно представить в виде системы состоящей из трех элементов: охватываемая деталь, эквивалентный слой, охватывающая деталь. При этом в качестве эквивалентного слоя рассматривается виртуальное пространство в пределах сопряжения деталей.

Для шпоночных соединений свойства эквивалентного слоя определяется взаимодействием элементов: шпонка, шпоночные пазы, контакт деталей по сопрягаемым поверхностям.

Для шлицевого соединения свойства эквивалентного слоя определяется контактным взаимодействием шлицов вала и втулки, а также их деформацией.

Для соединения с натягом свойства эквивалентного слоя определяется контактным взаимодействием сопрягаемых поверхностей деталей, при этом стык деталей рассматривается как «третье тело», имеющее особые физико-механические свойства.

Конструкция Гидростатического соединения (ГсС), как и в соединении с натягом (СН), состоит из охватывающей и охватываемой деталей, при этом в охватывающей детали выполняются регулярные, герметичные по торцам, каналы, оси которых располагаются концентрично сопрягаемой поверхности. Окружность, проведенная через оси регулярных каналов, разделяет охватываемую деталь на две части по их функциональному признаку. Несущая часть охватывающей детали расположена внутри окружности. Бандажная часть охватывающей детали расположена снаружи окружности. Сборка ГсС, в отличие от сборки СН, осуществляется в два этапа. На первом этапе детали сопрягаются с минимальным монтажным усилием. На втором этапе, для обеспечения фрикционного взаимодействия деталей ГсС, в полостях каналов создается высокое гидростатическое дав-

ление, после чего полости каналов герметизируются запорным устройством. При этом реализуется функциональное назначение бандажной и несущей частей охватывающей детали ГсС. Первая обеспечивает возможность создания высокого гидростатического давления в полостях каналов, тем самым обеспечивая высокое контактное давление на сопрягаемой поверхности ГсС. Вторая обеспечивает передачу нагрузки, при высоком контактном давлении на сопрягаемой поверхности ГсС. В этом случае жесткость на кручение несущей части ГсС не зависимо от величины давления на сопрягаемой поверхности, может варьироваться в широких пределах и, в частности, равняется жесткости на кручение охватываемой детали. Демонтаж ГсС обеспечивается санкционированное воздействие на его запорное устройство. Таким образом, ГсС обеспечивает одновременное выполнение указанных выше противоречивых условий, предъявляемых к СДМ, передающему нагрузку за счет фрикционного взаимодействия.

В рассматриваемом ниже случае схема соединения такова: к втулке и валу приложены моменты M , а между ними расположен эквивалентный слой, который представляет собой некоторое количество « n » элементов длиной « l » расположенных на радиусе « r ».

Для соединений типа вал-втулка смещение в эквивалентном слое определяется соотношением

$$\Delta = K_{\tau} \tau \quad (1)$$

где K_{τ} - коэффициент контактной касательной податливости, τ - удельная касательная нагрузка. В нашем случае:

$$\tau = \frac{F n L}{2 \pi r L} \quad (2)$$

где r, L - радиус и длина эквивалентного слоя, n - количество элементов.

$$\Delta = K_{\tau} \frac{F n}{2 \pi r} \quad (3)$$

$$K_{\tau} = \frac{\Delta}{F} \frac{2 \pi r}{n} = \nu(d, h_{\min}) \frac{2 \pi r}{n} \quad (4)$$

Коэффициент $\nu(d, h_{\min})$ в данном случае определяет податливость консольной балки единичной толщины.

Количество «элементов», при условии их равномерного распределения:

$$n = \frac{\pi r}{d + h_{\min}} \quad (5)$$

$$K_{\tau} = \nu(d, h_{\min}) (d + h_{\min}) \quad (6)$$

Для определения смещения Δ в эквивалентном слое рассмотрим расчетную модель, являющуюся элементом эквивалентного слоя:

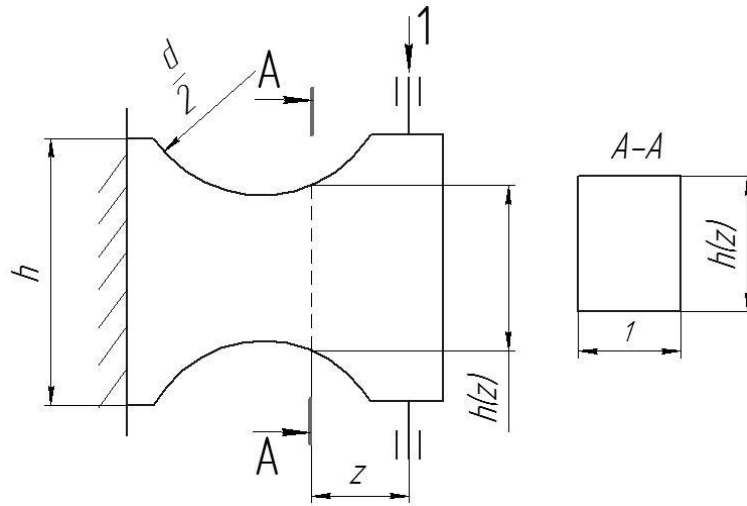


Рис. 1

Балка, показанная на рис. 1 является статически неопределимой.

Основная система:

Эквивалентная система:

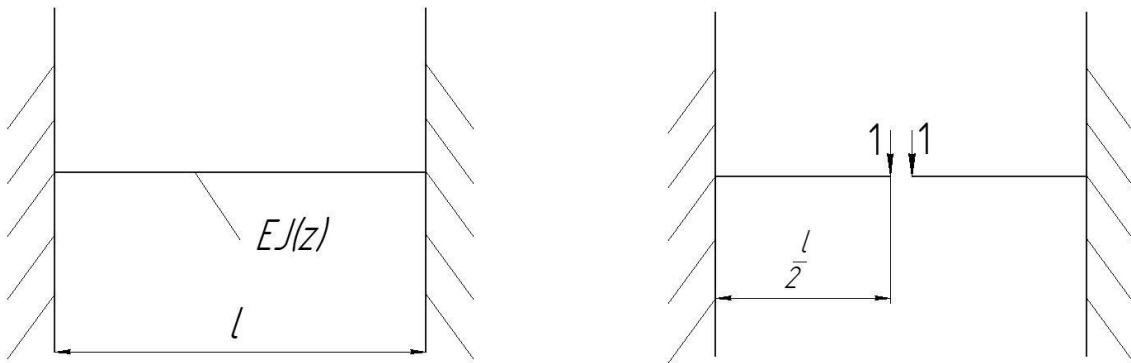


Рис. 2

Проведем расчет для эквивалентной системы (рис. 2):

Дифференциальное уравнение изогнутой оси имеет вид:

$$EJ(z) \frac{d^2 \Delta}{dz^2} = M(z) \quad (7)$$

где $J(z)$ — переменный момент инерции сечений балки.

$$M(z) = -z \quad (8)$$

Момент инерции для прямоугольного сечения:

$$J(z) = \frac{h^3(z)}{12} \quad (9)$$

Момент инерции сечения в заделке в заделке:

$$J = \frac{h^3}{12} \quad (10)$$

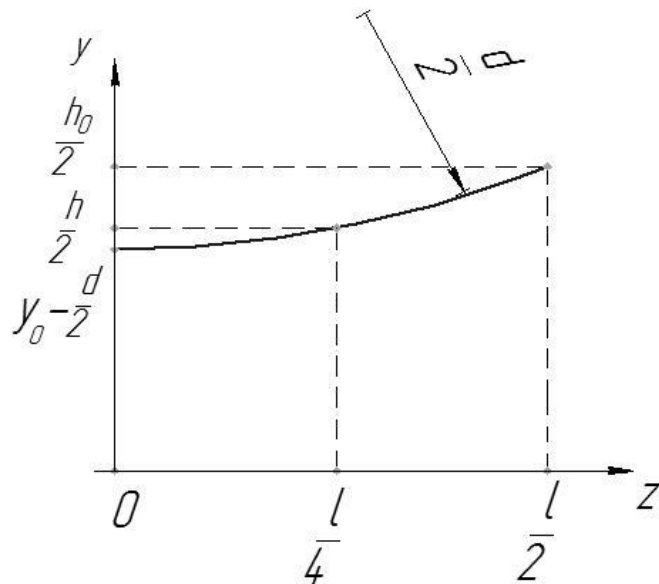


Рис. 3

Воспользуемся общим уравнением окружности для нахождения координаты y_0 центра окружности диаметра $\frac{d}{2}$ (рис. 3)

$$(z - z_0)^2 + (y - y_0)^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (11)$$

В нашем случае, при $z = \frac{l}{2}; y = \frac{h}{2}; z_0 = 0$ получаем:

$$\frac{l^2}{4} + \left(\frac{h}{2} - y_0\right)^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (12)$$

$$y_0^2 - hy + \frac{l^2}{4} + \frac{h_0^2}{4} - \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0 \quad (13)$$

$$y_0 = \frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} \quad (14)$$

Координаты центра окружности:

$$(z_0; y_0) = \left(0; \frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2}\right) \quad (15)$$

Объединенное уравнение окружности:

$$y = y_0 \pm \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - (z - z_0)^2} \quad (16)$$

Высота в сечении z :

$$h(z) = \frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2} \quad (17)$$

Момент инерции принимает вид:

$$J(z) = \frac{h^3(z)}{12} = \frac{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\left(\frac{d^2}{4} - z\right)^3}\right)^2}{12} = \quad (18)$$

$$= J \frac{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2}\right)^3}{h^3} = EJ \frac{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2}\right)^3}{h^3} = -z \quad (19)$$

Дифференциальное уравнение принимает вид:

$$EJ_0 \frac{d^2 \Delta}{dz^2} = - \frac{z \cdot h^3}{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2}\right)^3} \quad (20)$$

$$\Delta = \frac{1}{EJ} (D + Cz + \iint - \frac{z \cdot h^3}{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2}\right)^3} dz dz) \quad (21)$$

$$\Delta' = \frac{1}{EJ} (C + \int - \frac{z \cdot h^3}{\left(\frac{h + \sqrt{d^2 - l^2}}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} - z^2}\right)^3} dz) \quad (22)$$

При $z = \frac{l}{2}$ (в заделке), смещение $\Delta = 0$, угол поворота $\Delta' = 0$

Решаем систему уравнений и находим постоянные интегрирования C и D

Максимальное смещение Δ при $z = 0$:

$$\Delta = D \quad (23)$$

Т.к. наша система симметрична, то смещение Δ основной системы будет в 2 раза больше:

$$\Delta_{осн} = 2D \quad (24)$$

Искомый коэффициент контактной касательной податливости принимает вид:

$$K_{\tau} = \frac{2D}{EJ_0} (d + h_{\min}) \quad (25)$$

Список литературы

1. *Заярный С. Л., Рыжков К. Н.* Гидростатическое соединение деталей машин. //Инженерный вестник. 2013. №6. С. 99-104.
2. *Гречищев Е.С., Ильяшенко А.А.* Соединения с натягом: Расчет, проектирование, изготовление. М: Машиностроение,1981. 247 с.
3. *Иванов А.С.* Касательное смещение в соединениях с натягом под действием изгибающего момента. //Вестник машиностроения. 2008. № 4. С. 38-41.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ

Павин Николай Дмитриевич¹

¹студент

e-mail: ¹seekogh@gmail.com

Научный руководитель: к.т.н., доцент, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.А. Ермоленко

Надежность крана зависит от своевременного контроля его технического состояния. В соответствии с требованиями п. 9.3.2 Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00) грузоподъемные краны в течение нормативного срока службы должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию: частично - не реже одного раза в 12 месяцев; полному - не реже одного раза в 3 года, за исключением редко используемых кранов (краны для обслуживания машинных залов, электрических и насосных станций, компрессорных установок).

Наиболее информативен радиационный контроль, который основан на способности ионизирующего излучения от радионуклидов проникать через металл. Выявление повреждений заключается в разном поглощении гамма-излучения металлом с повреждениями и без них. Методы радиационного контроля различаются способами детектирования (приема) информации и делятся на радиографические (фиксация изображения на пленке), радиоскопические (наблюдение изображения на экране) и радиометрические (регистрация электрических сигналов).

При гамма-просвечивании источниками излучения служат радионуклиды: цезий-137, кобальт-60, тулий-170, иридий-192, селен-75. Гамма-излучение отличается от рентгеновского большей проникающей способностью и меньшей длиной волны. Недостаток - невозможность регулирования интенсивности излучения, большая опасность для персонала, в связи с чем требуются специальные меры радиационной защиты: экранирование, увеличение расстояния от источника излучения, ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне.

Гамма-дефектоскопом называют совокупность технических средств, предназначенных для использования гамма излучения. Эти аппараты состоят из источника излучения, защитного контейнера, коллиматоров, обеспечивающих изменение размеров и пространственной ориентации пучка излучения, пульта управления заслонкой излучения. В комплект гамма-дефектоскопа входят также транспортные тележки, штативы для крепле-

ния радиационной головки, контейнеры для транспортирования и устройства для автономных блоков питания.

Гамма-дефектоскопы можно разделить на общепромышленные (универсальные шланговые дефектоскопы), у которых источник излучения подается к месту просвечивания по шлангу-ампулопроводу и специальные (затворного типа) для фронтального и панорамного просвечивания, у которых источник излучения не выходит за пределы радиационной головки.

Основные технические характеристики отечественных гамма-аппаратов:

Тип аппарата «Гаммарид-11», источник излучения тулий-170, масса аппарата 11 кг, толщина просвечиваемой стали 1-15 мм.

Тип аппарата «Гаммарид-20», источник излучения иридий-192, масса аппарата 12 кг, толщина просвечиваемой стали 6-40 мм.

Тип аппарата «Гаммарид-25», источник излучения цезий-137, масса аппарата 19 кг, толщина просвечиваемой стали 15-80 мм.

Универсальность и возможность подачи ампулы с радионуклидом по пневмопроводу на расстояние до 12 м делают общепромышленные дефектоскопы (рис.1) предпочтительными для радиографического контроля в нестационарных условиях, особенно при контроле с труднодоступными участками.

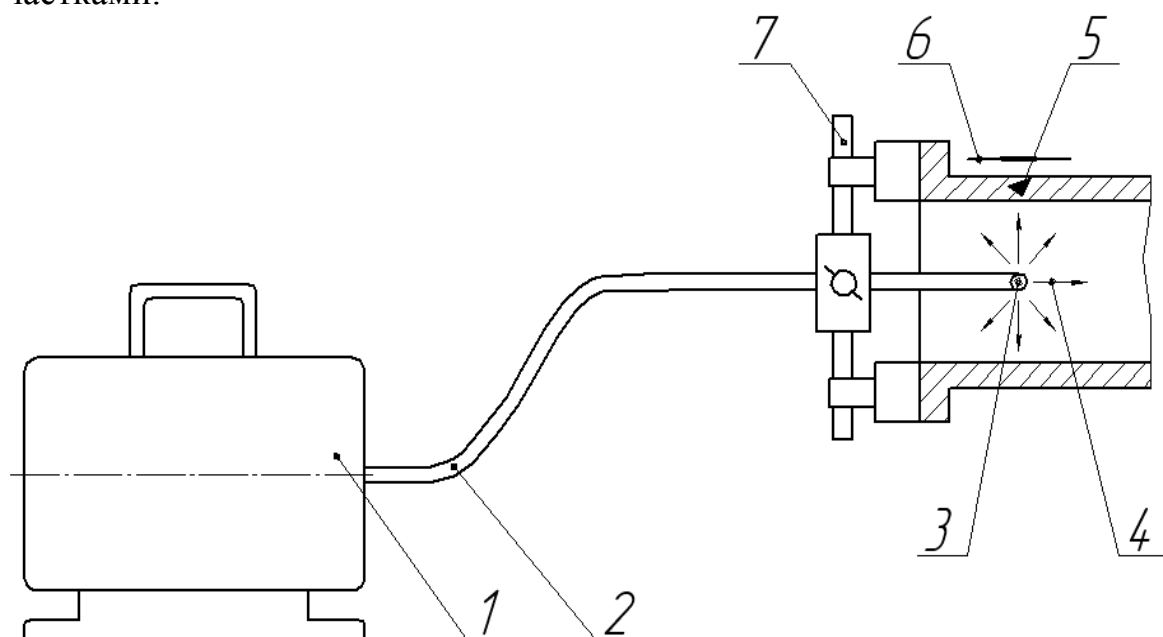


Рис.1. Шланговый гамма-дефектоскоп

1 - контейнер; 2 – пневмопровод для ампулы; 3 - ампула с радионуклидом; 4 - гамма-лучи; 5 - дефект в изделии; 6 – радиографическая пленка; 7 – магнитный штатив

При помощи ручного дистанционного пульта управления источник излучения выдвигают из контейнера по пневмопроводу внутрь объекта, про-

свечивают нужный участок объекта и проецируют изображение на радиографическую пленку, возвращают источник в контейнер.

Для сокращения времени просвечивания применяют флуоресцентные и металлические экраны. Использование флуоресцентных экранов позволяет снизить время экспозиции в 2...5 раз. Металлические экраны снижают время экспозиции в 2...3 раза и одновременно повышают чувствительность, поэтому их более широко применяют. Перед проведением радиографического контроля пленку вместе с экранами помещают в светозащитную кассету, открываемую дистанционно.

Расшифровку радиограмм производят в проходящем свете на неготовоскопе, в котором имеются закрытые матовым стеклом лампы для создания равномерного рассеянного светового потока. Расшифровка радиограмм состоит из трех основных этапов: оценки качества изображения, анализа изображения и отыскания на нем дефектов и составления заключения о качестве изделия.

Затем оценивают оптическую плотность; проверяют, видны ли элементы эталона чувствительности, гарантирующие выявление недопустимых дефектов; есть ли на снимке изображение маркировочных знаков. Оптическую плотность измеряют на денситометрах или на микрофотометрах. Заключение о качестве проконтролированного изделия дается в соответствии с техническими условиями на изготовление и приемку изделия.

Шланговые гамма-дефектоскопы типа «Гаммарид» выполнены из унифицированных блоков. Они снабжены набором источников γ -излучения, размещаемом в контейнере. Это позволяет просвечивать изделия различной толщины, а также штативом (рис.2), расширяющим технологические возможности дефектоскопов.

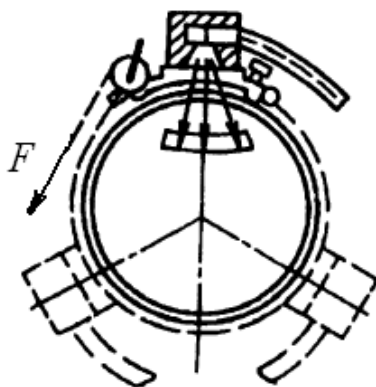


Рис.2. Цепной штатив для промышленной радиографии

С помощью радиационных методов контроля выявляют усталостные трещины, коррозионные явления и другие дефекты. Обнаружение и точная локализация дефектов являются основными преимуществами гамма контроля. Не требуется высокая чистота поверхности деталей. Результаты

весьма наглядны, легко определяется вид повреждения по сравнению с другими методами неразрушающего контроля.

Недостатками являются сложность обслуживания и высокая стоимость дефектоскопов. При гамма контроле не выявляются трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания.

Литература

1. В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.В. Ефимов, В.Ф. Шумихин Практика радиографического контроля. Учебное пособие. - Томск, ТПУ, 2011. 288 с.
2. С.М. Валевиц Источники ионизирующего излучения, применяемые в радиационной дефектоскопии. НПФ «Ультракон», Киев, 1998.
3. Надежность машин. Том IV-3. Энциклопедия «Машиностроение» / Под ред. В.В. Ключева, А.П. Гусенкова. М.: Машиностроение. 2001. 592 с.

ЛЕГКИЕ КОЗЛОВЫЕ КРАНЫ

Потапов Дмитрий Валерьевич¹, Заярный Сергей Леонидович²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹lameduck@yandex.ru; ²texnakon@yandex.ru

В линейке козловых кранов отдельно выделена серия легких козловых кранов или, как по-другому их называют, мобильных перегрузочных устройств (МПУ). Они относятся к средствам малой механизации погрузочно-разгрузочных работ в условиях производства, склада, ремонтной мастерской, а также на открытых площадках. Легкие козловые краны предназначены для подъема и перемещения небольших грузов до 10 т. Пролет может достигать 12 м, высота подъема – 6 м.

Преимуществом данного типа козлового крана является то, что его можно использовать в тех местах и случаях, где нет возможности или не рационально применять большие грузоподъемные машины (мостовые опорные или подвесные краны, автомобильные краны, козловые краны).

Легкий козловой кран представляет собой легкую разборную алюминиевую или стальную конструкцию. Подобная конструкция крана удобна для транспортировки и может быть легко собрана на месте без привлечения сторонних специалистов или техники. На рисунке 1 представлены возможные варианты исполнения легких козловых кранов.



Рис. 1

Одна из основных конструктивных особенностей заключается в том, что такой козловой кран устанавливается на небольшие полноповоротные колеса. Это придает большую маневренность крану и увеличивает область применения. При использовании на неровных и нетвердых земляных покрытиях или при большой грузоподъемности, легкий козловой кран оборудуется регулируемыми опорными элементами (аутригерами), что позволяет сохранить геометрию конструкции крана и увеличить срок эксплуатации, но ограничивает рабочую зону.

Легкие козловые краны могут иметь регулируемые параметры: высота, ширина и длина, что позволяет модифицировать кран согласно условиям эксплуатации и относительно рабочего пространства.

В качестве механизма подъема применяется электрическая или ручная таль, что также позволяет применять легкий козловой кран в помещениях, где нет соответствующего электроснабжения или на открытом воздухе.

На рисунке 2 представлено устройство легкого козлового крана и его узлы: 1 – пролетная балка (мост), 2 – опора (нога), 3 – механизм подъема, 4 – колесная опора, 5 – выносная опора (аутригер), 6 – электрический шкаф, 7 – токоподвод, 8 – пульт управления.

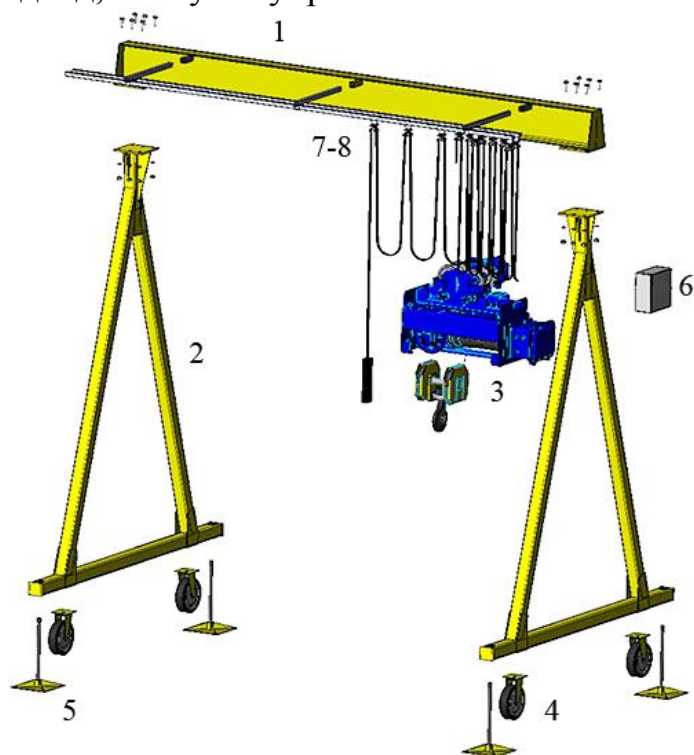


Рис. 2

Легкий козловой кран прост в конструкции и обладает хорошей ремонтопригодностью, легок в эксплуатации. За счет своей простой конструкции он, при необходимости, легко монтируется и демонтируется. Такие козловые краны имеют сравнительно небольшой вес и габариты в разобранном состоянии, что дает возможность его легко транспортировать в различные места эксплуатации.

К тому же, легкие козловые краны – это один из самых экономичных видов грузоподъемных устройств, что, наряду с высокой надежностью и длительным сроком службы, имеет особое значение для представителей среднего и малого бизнеса.

Список литературы

1. *П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин, Л.Г. Серлин* — Специальные краны — М: Машиностроение, 1985, 248 с.
2. *И.И. Абрамович, В.Н. Березин, А.Г. Яуре* — Грузоподъемные краны промышленных предприятий — М: Машиностроение, 1989, 360 с.

СЕКЦИЯ 14.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ НЕКОТОРЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ

Осмоловский К.Е.¹, Кузнецова А.А.², Горбунов А.К.³

¹студент группы ИНК.Б-41; ²учащаяся Лицея №9 им. К.Э. Циолковского; ³заведующий кафедрой «Физика» (ФН4-КФ), профессор, доктор физико-математических наук.

e-mail: ¹super.hawker@yandex.ru; ²super.hawker@yandex.ru;
³super.hawker@yandex.ru

1. Статистическое использование информационных функционалов.

Практическое использование оценок информационных функционалов может преследовать одну из двух целей. Первая состоит в том, чтобы использовать эти оценки для измерения определенных характеристик информационных систем (энтропия, шенноновское и фишеровское количества информации и т.п.). Этой цели соответствует статистическая задача оценки параметров. Вторая цель - использовать различие тех или иных функционалов при разных распределениях для проверки гипотез. Учитывая, что всякая тестовая статистика есть оценка некоторого функционала, можно усмотреть много общих статистических проблем для обоих случаев. В непараметрической постановке это родство проявляется еще сильнее, т.к. при этом вообще исчезает различие между оцениванием функционала и вычислением тестовой статистики.

2. Два типа непараметрических оценок нелинейных функционалов.

Ряд функционалов информационного типа имеет вид

$$J = \int F [g(x), g'(x), \dots] g(x) dx. \quad (1)$$

где F - известная функция, g - плотность, которая в непараметрическом случае считается неизвестной. Существует два способа получения непараметрических оценок функционалов такого типа. Первый состоит в непосредственной подстановке в (1) непараметрических оценок плотности и ее производных и выполнения интегрирования (будем называть такие оценки "прямыми"). Второй способ сводится к подстановке непараметрических оценок плотности и ее производных только в функцию F и дальнейшему построению соответствующих U - статистик (результатирующие оценки будем называть "квази - U - статистиками"). Использование различных типов непараметрических оценок плотности порождает разные классы оценок функционалов. Их исследование приводит к следующим результатам.

1. Если используются оценки плотности и ее производных, введенные Розенблаттом, Парзенем и Бхаттачарья, то и прямые оценки, и квази-U-статистики являются асимптотически несмещенными и сходящимися к J в среднеквадратическом; кроме того, доказана их сходимость с вероятностью единица. Сравнение этих оценок показывает, что квази-U-статистики обладают преимуществами перед прямыми оценками: а) хотя обе они асимптотически несмещенны, смещение квази-U-статистик всегда меньше смещения прямой оценки; б) хотя асимптотически дисперсии обеих оценок имеют порядок CN^{-1} , константа C, зависящая от вида J, для квази-U-статистик меньше; в) квази-U-статистики более удобны при вычислениях, т.к. имеют простую аддитивную структуру и не требуют выполнения интегральных операций, необходимых для получения прямых оценок.

2. При пользовании такими непараметрическими оценками плотности, как гистограмма или полиграмма (что возможно при отсутствии производных в F), прямые оценки и квази-U-статистики асимптотически эквивалентны. Основные свойства таких оценок: а) оценки на гистограмме хотя и имеют стремящуюся к нулю дисперсию, обладают смещением, зависящим от неизвестного распределения; б) оценки на полиграмме, в зависимости от вида функции F, либо являются асимптотически нормальными, $\mathcal{N}(A, CN^{-1})$, где A - смещение, зависящее от вида функционала, $C < \infty$, либо подчинены распределению, не обладающему конечными моментами.

3. Класс тестов, порождаемый непосредственным оцениванием рангового отношения правдоподобия

Благодаря ряду положительных качеств ранговых тестов (непараметричность по уровню значимости, робастность по мощности, асимптотическая оптимальность при определенных условиях, простота вычисления тестовых статистик), они привлекают большое внимание теоретиков и экспериментаторов. К сожалению, оптимальные ранговые тесты в большинстве случаев построить не удастся из-за чисто технической трудности вычисления вероятности рангового вектора при альтернативе. Основные достижения теории ранговых тестов получены путем рассмотрения локально наиболее мощных тестов, порождаемых первым членом в разложении рангового отношения правдоподобия в ряд Тейлора. До сих пор почему-то оставался вне поля зрения прямой путь получения тестов за счет непосредственного оценивания рангового отношения правдоподобия. Продемонстрируем такую возможность на примере одновыборочной задачи. Ранговое отношение правдоподобия в этом случае запишется как $L(\{R_i\}) = N! \int_I dG(x_1, \dots, x_N)$, где G – альтернативное распределение, I - область значений в X^n , соответствующая данному ранговому вектору $\{R_i\}$. Пользуясь понятием антиранга, конкретизируем I :

$$L(\{R_i\}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{x_{d_1}}^{\infty} \dots \int_{x_{d_{N-1}}}^{\infty} dG(x_1, \dots, x_N) = \int_{X^N} \prod_{R=1}^N C(X_{d_R} - X_{d_{R-1}}) dG(x_1, \dots, x_N).$$

Здесь d_R - антиранг, $C(t) = \{I : t \geq 0; 0 : t < 0\}$, интегрирование в последнем интеграле ведется по всему пространству X^N . Последнее выражение является функционалом, допускающим непараметрическое оценивание (в частотности, U-статистикой). Всякая состоятельная оценка этого функционала будет порождать соответствующий тест. При непараметрическом оценивании тест будет обладать большой универсальностью, однако, его мощностные свойства подлежат дальнейшему исследованию.

Список литературы

Сакрисон Д.Д. Лекции по теории связи. – М.: Мир, 1992.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В ОДНОЙ МОДЕЛИ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

Осмолюцкий К.Е.¹, Горбунов А.К.²

¹студент группы ИНК.Б-41; ²заведующий кафедрой «Физика» (ФН4-КФ), доктор физико-математических наук, профессор

e-mail: ¹super.hawker@yandex.ru; ²super.hawker@yandex.ru

1. Пусть имеется t факторов, т.е. переменных x_α , $\alpha=1, \dots, t$ принимающих по нашему выбору одно из двух значений 0 или 1. Известно, что какие-то $S \ll t$ из этих факторов – значимые. Задана функция $y(x)$ от вектора $x = \{x_\alpha, \alpha=1, \dots, t\}$, равная 0, если число n значимых факторов, равных 1, заключено в пределах $0 \leq a \leq n < b \leq s$ и $y=1$ в противном случае. Требуется найти все значимые факторы с помощью экспериментов следующего типа. Каждому фактору x_α в i -ом эксперименте задают значение $x_{\alpha i}$ и измеряют $y_i = y(x_{1i}, \dots, x_{ti})$. Результат измерения передается по каналу с искажением, в результате чего на выходе измеряются независимые случайные величины $z_i = 0$ или 1, причем известны вероятности перехода $r_{mn} = P\{z_i = n / y_i = m\}$; $m, n = 0, 1$. Если $r_{mn} = 1 - r$, $n = 0, 1$; то говорят, что канал симметричен. На языке теории информации, задавая значения факторов $x_{\alpha i}$, мы кодируем сообщение о значимых факторах в двоичную последовательность y_i , анализируя последовательность z_i , мы должны декодировать сообщение.

Мы рассматриваем в основном такие последовательности экспериментов, в которых значения факторов не зависят от предыдущих измерений. Такие стратегии нужны в ситуациях, когда значения факторов должны быть заданы раз и навсегда. В то же время выясняется, что число экспериментов нельзя существенно уменьшить, за счет учета результатов предыдущих измерений, но можно упростить анализ экспериментов.

Зададим вероятности β и γ того, что в результате исследования хотя бы один соответственно незначимый (значимый) фактор признан значимым (незначимым). С помощью теоретико-информационных соображений мы получаем нижнюю оценку числа экспериментов, необходимых для выделения всех значимых факторов с заданными вероятностями β и γ ошибок. Затем описывается конкретная стратегия проведения измерений и несколько способов анализа экспериментов. Получены оценки числа экспериментов и сложности их обработки при использовании этих методов. Результаты обобщаются на случай, когда для S задано априорное распределение.

2. Допустим вначале, что ошибки в передаче результатов нет. Тогда используя то, что каждый эксперимент может иметь два исхода, легко получить нижнюю оценку для числа N экспериментов $2^N > C_t^s$, что выполнено при

$$N > S \log_2(S!) \quad (1)$$

В этой работе мы уделяем главное внимание слагаемому в оценке числа экспериментов, зависящему от t , который наиболее важен при $t \rightarrow \infty$, $s = \text{const}$.

В случае симметричного канала с шумом из сильного обращения теоремы кодирования следует, что нижней оценкой числа N экспериментов при заданных вероятностях ошибок β и γ является:

$$N > (S \log_2 t - \log_2(S!)) (1 + H(r))^{-1} \quad (2)$$

где

$$H(r) = r \log_2 r + (1-r) \log_2(1-r)$$

3. Из-за того, что кодирование у нас имеет специальный характер, теорема Шеннона, оценивающая сверху длину оптимально закодированного сообщения, не может быть непосредственно применена для оценки сверху числа экспериментов. Известную схему доказательства ее, использующую случайное кодирование, приходится модифицировать, предполагая зависимыми последовательности Y_1, \dots, Y_N , отвечающие пересекающимся множествам S факторов, и оценка длины сообщения существенно усложняется. Кроме того, для некоторых a, b нельзя добиться, чтобы вероятности событий $y=1$ и $y=0$ соответствовали пропускной способности (например, в случае $a=1, b=2$ $P\{y=1\} \geq 1/e + 1$, а пропускная способность для симметричного канала достигается при $P\{y=1\} = 1/2$). Используя теоремы Муавра-Лапласа и Пуассона можно вывести достаточные условия того, чтобы вероятность $P\{y=1\}$ соответствовала пропускной способности канала.

В качестве примера для простого случая $a=0, b=1$ и канала без шума опишем планирование и анализ экспериментов, что главный член числа измерений есть $S \log_2 t$. Для этого положим, что $x_{\alpha i}$ - случайные величины, независимые при разных α или i и $P\{x_{\alpha i} = 0\} = 2^{-1/s} = q$. В процессе декодирования мы оставляем только факторы, равные 0 во всех экспериментах с $y=0$. Из них мы составляем всевозможные S -ки.

Теорема 1. Если число описанных выше экспериментов

$$N > s \log_2 t + s^2 \log_2 s - s \log_2 \delta \quad (3)$$

то с вероятностью, большей $1-\delta$ только у искомой S -ки в каждом эксперименте с $y=1$ хотя бы один фактор равен 1.

Отметим, что декодирование требует исследования каждой S -ки, т.е. порядка t^s циклов операций, что практически невыполнимо при реально возможных S и t . При неточно известном S можно модифицировать деко-

дирование, включив перебор, начиная от меньших S , но это еще более усложнит процедуру.

Аналогичную процедуру, использующую декодирование по методу максимального правдоподобия, можно исследовать и в случае канала с шумом. Для нее остаются в силе перечисленные выше недостатки.

4. Опишем теперь для простоты в случае $a=0, b=1$ и симметричного канала, $0 < r < \frac{1}{2}$ анализ, который при том же планировании экспериментов, что и в п.3, требует примерно в $(\ln 2)^{-1}$ раз больше экспериментов, и порядка t циклов операций. Он устойчив по отношению к неточности знания величины S .

Метод заключается в проверке для каждого фактора x_{α} гипотезы о его значимости. Каждый эксперимент имеет при данном α 4 исхода $(y_i, x_{\alpha i})$; $y_i=0,1$; $x_{\alpha i}=0,1$. Применением теоремы о больших отклонениях к сумме независимых логарифмов $\int_i^{\ln i}$ отношений правдоподобия доказывается

Теорема 2. Если число описанных в п.3 экспериментов

$$N > s \log_2(t\beta^{-1})[(1+H(r)) \ln 2]^{-1} \quad (4)$$

а $x = M_{3\xi} \{1 - c_{\gamma s} [(1 + H(r)) \log_2(t\beta^{-1})]^{-1/2}\}$, где $c_{\gamma s}$ - постоянная, зависящая от γ, s, \dots , то с вероятностью, большей соответственно $1 - \beta(1 - \gamma)N^{-1} \sum_{i=1}^x \xi_i^{(\alpha)} < x$ ($> x$) для всех незначимых (значимых) факторов x_{α} .

Можно немного улучшить (4) за счет изменения вероятности q .

Для несимметричного канала применимо то же планирование и анализ экспериментов, только вместо q надо взять вероятность \bar{q} , для которой достигается пропускная способность C канала, а оценка для числа экспериментов имеет вид $N > \log_2(t\beta^{-1})(c \ln \bar{q})^{-1}$.

Список литературы

Дж. Вольфовиц. Теоремы кодирования теории информации. - М.: «Мир», 1990.

ВЫБОР КОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Горбунов Александр Константинович¹, Пузанова Елена Дмитриевна²

¹профессор, д.ф.-м.н.; ²Студент группы ИНК.Б-41

e-mail: ¹alena.puz1994@gmail.com; ²puzanova1994@yandex.ru

Системы с решающей обратной связью в дискретных каналах допускают весьма простую техническую реализацию и позволяют получить скорость передачи близкую к пропускной способности в каналах с переменным параметром (КПП). По определению, это q-ичные каналы с аддитивным шумом, в которых вероятности ошибочного приема i-го элемента

$0 \leq p(\mu_i) \leq \frac{q-1}{q}$ определяются значениями стационарного случайного процесса μ_i , $i=1,2,\dots$. Такая модель хорошо описывает радиоканалы с ионосферным отражением или тропосферным рассеянием радиоволн.

Пропускная способность таких каналов ограничена сверху величиной $\bar{C} = \int [\log q + P(\mu) \log P(\mu) + (1 - P(\mu)) \log(1 - P(\mu))] \omega(\mu) d\mu$, где

$\omega(\mu)$ - одномерное распределение параметра μ . Вероятность безошибочного приема кодового блока длины n в КПП имеет вид

$P_{\delta_0}(n) = \int \dots \int \prod_{i=1}^n (1 - P(\mu_i)) \omega(\mu_1, \dots, \mu_n) d\mu_1 \dots d\mu_n$, где $\omega(\mu_1, \dots, \mu_n)$ - многомерное

распределение параметра μ . Во многих практически важных случаях величина \bar{C} близка к пропускной способности q-ичного симметричного канала

без памяти, имеющего вероятность ошибки $p = \int P(\mu) \omega(\mu) d\mu$, а $P_{\delta_0}(n)$, наоборот, оказывается значительно больше вероятности $(1-p)^n$ - безошибочного приема блока в таком канале без памяти.

Показано, что для любого q-ичного канала с памятью и аддитивным шумом всегда существует систематический (n,k), который обеспечивает вероятность необнаруживаемой ошибки

$$P_{\text{HO}} \leq \frac{1}{q^{n-k}}, \quad (1)$$

Важнейшей задачей является, однако, нахождение универсальных кодов, обеспечивающих требуемую величину P_{HO} для любых КПП. Если случайный параметр μ_i изменяется столь медленно, что его можно считать

постоянным на длине кодового блока, то задача сводится к построению кодов, обеспечивающих требуемое значение P_{H0} для каналов без памяти с любыми вероятностями ошибок p . В этом случае для групповых кодов

$$P_{H0} = \sum_{i=1}^n N_i \left(\frac{p}{q-1} \right)^i (1-p)^{n-i} \quad (2)$$

N_i - число кодовых слов веса i .

При обрыве канала, т.е. когда $p = \frac{q-1}{1}$, получаем $P_{H0} = \frac{1}{q^{n-k}}$. Однако, в отличие от кодов с исправлением ошибок, для кодов с обнаружением отсутствует, в общем случае, свойство монотонного убывания P_{H0} как функции p .

В работе найдена нижняя граница для N_i двоичного кода с заданным $d_{\min}=2t+1$ и с ее помощью границы для P_{H0}

$$P_{H0} \leq \sum_{i=2t+1}^n \frac{C_n^{i-t}}{C_i^t} p^i (1-p)^{n-i} \leq \frac{p^t (1-p)^{-t}}{C_{2t+1}^t}, \quad (3)$$

Модификация оценок (3) получена

$$P_{H0} \leq \frac{1}{C_{n+t}^t} \left[2^{t-2^{n+1}} \sum_{i=0}^{t-1} C_{n+t}^{i-t} - 2^{-n} \sum_{i=t}^{2t} C_{n+t}^i \right] < \frac{2^t}{C_{n+t}^t}, \quad (4)$$

В последнее время появилось много работ, посвященных проблеме нахождения спектров $\{N_i\}_{i=1}^n$ различных групповых кодов. Однако, в общем эта проблема еще далека от своего окончательного решения и кроме того, как видно из (2), она не полностью адекватна выбору кодов с минимальным значением P_{H0} . Более правильна, на наш взгляд, постановка задачи о нахождении классов кодов, допускающих удобную оценку максимума P_{H0} по всем p .

Доказывается, что для q -ичных укороченных (n,k) кодов Рида-Соломона, при условии, что $n < q-1$, справедлива оценка

$$P_{H0} \leq \frac{l}{q^{n-k}}, \quad (5)$$

(Например, код $(15,20)$ при $q=16$ обеспечивает для любых состояний канала $P_{H0} \leq 2,7 \cdot 10^{-6}$).

В двоичном случае удобными для обнаружения ошибок оказываются каскадные коды с использованием в качестве внешнего кода – кода Рида-Соломона и обнаружением ошибок внутренним и внешними кодами. Для таких кодов получены оценки

$$P_{H0} \leq \frac{1}{q^{n_1-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^j p^{d_{1j}} (1-p)^{n_1 n_2 - d_{1j}} \quad , \quad (6)$$

$$P_{H0} \geq \frac{q-1}{q^{n_2-k_2}} \sum_{j=d_2}^{n_2} C_{n_2}^j q^{j-1} (p(1-p))^{\frac{n_1 2^{k_1-1} j}{2^{k_1-1}}} (1-p)^{n_1(n_2-j)} \left(1 - \frac{j-1}{q}\right) \quad , \quad (7)$$

где (n_1, k_1) - параметры внутреннего кода, d_1 - минимальное расстояние внутреннего кода; (n_2, k_2) – параметры внешнего кода, d_2 – его минимальное расстояние, $q = 2^{k_1}$.

Предположим теперь, что переменный параметр можно считать постоянным только на $n_1 \ll n$ последовательных элементах. Тогда посмотрим каскадный код с внутренним двоичным кодом (n_1, k_1) и внешним $q = 2^{k_1}$ -ичным кодом Рида-Соломона. Пусть первичным кодом обнаруживаются ошибки и подблоки с обнаруженными ошибками стираются. Если число стертых подблоков больше $n_2 - k_2 - 1$, то переспрашивается весь блок, а в противном случае производится исправление стираний кодом Рида-Соломона. Доказывается, что для такого кода и алгоритма декодирования справедлива оценка

$$P_{H0} \leq n_2 \left(\frac{d_1}{n_1}\right)^{d_1} \left(1 - \frac{d_1}{n_1}\right)^{n_1 - d_1} \quad , \quad (8)$$

В общем случае задача о построении универсального кода для любого КПП остается открытой, но представляется, что справедливо следующее утверждение: если некоторый (n, k) код обеспечивает $P_{H0} \leq P_{\text{дон}}$ для любого $0 \leq p \leq \frac{q-1}{q}$ в канале без памяти, то он обеспечит $P_{H0} \leq P_{\text{дон}}$ и для любого стационарного КПП.

Список литературы

1. У. Питерсон, Э. Уэлдон. Коды, исправляющие ошибки. М. «Мир» 1991

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ УСРЕДНЕННОЙ ЭНТРОПИИ

Горбунов Александр Константинович¹, Пузанова Елена Дмитриевна²

¹профессор, д.ф.-м.н.; ²Студент группы ИНК.Б-41

e-mail: ¹alenapuz1994@gmail.com; ²puzanova1994@yandex.ru

Любую систему, которая обрабатывает информацию, можно рассматривать как некоторый фильтр, включенный между источником исходных данных и потребителем результатов обработки. Исходные данные при этом являются выходными сигналами некоторого источника сообщений A_1 , для которого значение энтропии равно H_1 . На выходе обрабатывающей системы можно определить энтропию H_2 как энтропию некоторого другого источника сообщений A_2 . Энтропия на выходе источника A_2 либо совпадает с энтропией источника A_1 , либо не совпадает. Изучение величины изменения энтропии в последнем случае является целью данной статьи. Для простоты рассматриваются дискретные системы и источники сообщений.

Если на выходе источника A_1 множество возможных символов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ и на выходе источника A_2 множество символов $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, то система S реализует над этими множествами некоторое отображение F . Если это отображение взаимнооднозначное, то $H_2 = H_1$, т.е. значение энтропии не изменяется. К таким системам относятся системы передачи и перекодирования данных. В данной статье рассматриваются системы, для которых взаимная однозначность отображения не выполняется. В таком случае $H_2 < H_1$, т.е. энтропия уменьшается (предполагается, что внутри системы S нет дополнительных источников).

В некоторых случаях величина изменения энтропии в системе характеризует сложность отображения, и в статье делается попытка использовать её в качестве оценки сложности работы системы. Такая оценка отличается тем, что она не зависит от технической реализации, а только от сложности отображения реализуемого данной системой, т.е. является оценкой по конечному результату.

Обозначив вероятность появления символа $x_i \in X$ на выходе A_1 через p_i и вероятность появления символа $y_j \in Y$ на выходе A_2 через r_j , и вычисляя значение изменения энтропии $\Delta H = H_1 - H_2$, легко убедиться, что значение ΔH зависит, кроме сложности отображения, также от распределения вероятностей r_j . Для исключения влияния распределения вероятностей символов источника A_1 значение энтропии целесообразно усреднять по

всем возможным распределениям, принимая, что все распределения равновероятные. Тогда получим на выходе источника A_1 среднюю энтропию

$$\overline{H}_1 = - \int_0^{a_1} \dots \int_0^{a_m} \sum_{i=1}^m p_i \lg p_i dp_1 \dots dp_m, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^m p_i = 1; \sum_{i=1}^m a_i = 1;$

Средняя энтропия на выходе источника A_2 по всем распределениям вероятностей входных символов

$$\overline{H}_2 = - \int_0^{a_1} \dots \int_0^{a_m} \sum_{j=1}^n p_j \lg p_j dp_1 \dots dp_m, \quad (2)$$

где $p_j = f_j(p_1 \dots p_m)$ - функция от вероятностей выходных символов системы. Вид функции f_j определяется типом отображения.

В качестве независимой оценки средней сложности преобразования принимается минимальное возможное значение средней энтропии $H_{2\min}$. Оно достигается при отображении, разделяющем множество выходных символов на два класса с наихудшим распределением – один символ в один класс, а все остальные – в другой. Значение $H_{2\min}$ зависит только от количества элементов множества x :

$$\overline{H}_{2\min} = \sum_{s=2}^k \frac{1}{2^{k-s+1}} \left(\sum_{r=2}^{\infty} \frac{1}{r^3} - \frac{1}{2^3} \right) - \frac{3}{2^{k+1}}, \quad (3)$$

где $k = \lg m, k \geq 2$.

Оценка средней сложности преобразования производится по отношению к сложности при наипростейшем отображении, возможном при данном количестве элементов множества x . Тогда относительная средняя сложность преобразования определяется значением

$$D = k \frac{\overline{H}_2}{H_{2\min}}. \quad (4)$$

В случае, когда система S реализует логическую функцию, описываемую одним конъюнктивным (или дизъюнктивным) членом, и числе переменных на входе системы S , равным k , это выражение дает целочисленные значения $D=k$.

В случае, когда система S состоит из нескольких элементов S_1 , значение D_1 может быть определено для каждого элемента, при этом

$$D_s = \sum_{l=1}^t D_l \geq D, \quad (5)$$

где t – число элементов в системе.

Неравенство $D_s > D$ имеет место очень часто, так как символы, поступающие на входы отдельных подсистем, могут быть независимые. Это оз-

начает, что у некоторых элементов используется не все из возможных преобразований. В таком случае можно ввести понятие коэффициента полезного действия системы

$$\eta = \frac{D}{D_s} . \quad (6)$$

На основе вышеприведенного произведены:

- вычисление минимальной возможной энтропии на выходе логических систем при количестве входных переменных $k \leq 1000$;
- методика определения эффективности работы комбинационных схем;
- оценка средней сложности арифметических операций.

Статья иллюстрируется результатами перечисленных работ.

Список литературы

1. *Галлагер Г.* Теория информации и надежная связь. М. «Мир» 1990

О ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА С БОЛЬШИМ АДДИТИВНЫМ ШУМОМ

Пузанова Елена Дмитриевна¹, Горбунов Александр Константинович²

¹Студент группы ИНК,Б-41; ²профессор, д.ф.-м.н.

e-mail: ¹puzanova1994@yandex.ru; ²alenapuz1994@gmail.com

Исследованию асимптотического поведения информации и пропускной способности канала при слабом входном сигнале посвящено довольно большое число научных работ. Однако до сих пор при тех или иных ограничениях были получены лишь главные члены асимптотических разложений информации и пропускной способности канала.

В работе изучается асимптотическое поведение пропускной способности непрерывного канала с большим аддитивным шумом при условии, что мощность входного сигнала стремится к нулю. Рассматривается случай, когда плотность распределения шума быстро убывает на бесконечности или является гладкой финитной функцией.

Рассмотрим канал связи с независимым аддитивным шумом, сигнал на выходе η которого равен сумме сигнала на входе ξ и статистически независимого от него шума ζ т.е. $\eta = \xi + \zeta$. Предположим, что средняя мощность сигнала на входе ограничена: $M\xi^2 \leq \varepsilon$, где $0 < \varepsilon < \infty$. Пусть $C(\varepsilon)$ – предельно достижимое количество проходящей информации – пропускная способность такого канала.

Показано, что при $\varepsilon \rightarrow 0$ асимптотика $C(\varepsilon)$ является линейной по ε :

$$C(\varepsilon) = L\varepsilon + o(\varepsilon), \quad (1)$$

в предположении, что

$$L = \sup_a \frac{\varphi(a)}{a^2} < \infty, \quad (2)$$

где $\varphi(a) = \int [q(x) - q(x-a)] \log(x) dx$,
 $q(x)$ – плотность распределения шума ζ .

Показано, что $C(\varepsilon) \sim K\varepsilon \log \frac{1}{\varepsilon}$ при $\varepsilon \rightarrow 0$, где K – некоторая константа, в случае когда $L = \infty$ вследствие того, что плотность шума $q(x)$ дифференцируемая всюду, кроме конечного числа точек, где существуют лишь односторонние производные.

Установлено, что $C(\varepsilon) \sim D\sqrt{\varepsilon}$ и указан вид константы D в случае, когда $L=\infty$ вследствие того, что $q(x)$ имеет конечное число разрывов первого рода. В настоящей работе изучается асимптотическое поведение пропускной способности $C(\varepsilon)$ в случае, когда плотность шума $q(x)$ является гладкой функцией (например, дважды дифференцируемой), но $L=\infty$ из-за быстрого убывания $q(x)$ на бесконечности.

В работе установлено, что если

$$\lim_{a \rightarrow \infty} \frac{\varphi(a)}{a^2} = \infty, \quad (3)$$

то плотность $q(x)$ – дважды дифференцируема и не обращается в нуль, то, вообще говоря, существуют константы $k_1, k_2, A_1, A_2, 0 < k_1 \leq k_2, A_1 > 0, A_2 > 0$ такие, что асимптотически при $\varepsilon \rightarrow 0$

$$A_1 \varepsilon \log^{k_1} \frac{1}{\varepsilon} \leq C(\varepsilon) \leq A_2 \varepsilon \log^{k_2} \frac{1}{\varepsilon}, \quad (4)$$

Например, если при $|x| \rightarrow \infty$ $q(x) \sim \exp\{-|x|^\alpha\}$, где $\alpha > 2$, то

$$A_1 \varepsilon \log^{\frac{\alpha-2}{\alpha}} \frac{1}{\varepsilon} \leq C(\varepsilon) \leq A_2 \varepsilon \log^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} \frac{1}{\varepsilon}, \quad (5)$$

Если же $q(x)$ – гладкая (дважды дифференцируемая) финитная функция, то

$$C(\varepsilon) \sim B \varepsilon \log \frac{1}{\varepsilon}, \quad (6)$$

где B – некоторая константа.

В случае, когда $q(x)$ – финитная функция, отличная от нуля на некотором отрезке длины h , по описанному выше каналу возможна передача без ошибок. Обозначим через $C_0(\varepsilon)$ – пропускную способность такого канала при нулевой ошибке. В работе установлено, что при $\varepsilon \rightarrow 0$

$$C(\varepsilon) \sim \frac{1}{h^2} \varepsilon \log \frac{1}{\varepsilon}, \quad (7)$$

В заключение отметим, что при исследовании асимптотического поведения пропускной способности непрерывных каналов, оказывается полезной лемма. Пусть

$$I(N) = \sup_{r(x)} \left\{ - \int_{|x| > N} r(x) \log r(x) dx \right\}, \quad (8)$$

Где верхняя грань берется по всем плотностям распределения вероятностей $r(x)$ таким, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} r(x) dx = 1, \quad (9)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 r(x) dx \leq \sigma^2, \quad (10)$$

Где σ^2 - некоторая положительная константа. Тогда при $N \rightarrow \infty$

$$I(N) = \left(\frac{3 \ln N}{N^2} - \frac{\ln \ln N}{N^2} - \frac{L n 3 \sigma^2 - 1}{N^2} \right) \sigma^2 + o\left(\frac{1}{N^2} \right) \quad (11)$$

Основные результаты работы обобщаются также на многомерный случай.

Список литературы

1. Сакрисон Д. Лекции по теории связи. М. «Мир» 1992г

О ПРИМЕНЕНИИ МАТРИЧНЫХ ПРОИЗВОДЯЩИХ ФУНКЦИЙ К ОЦЕНКЕ ВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Волчёнков Д.Н.¹, Кузнецова А.А.², Горбунов А.К.³

¹Студент, группа ИНК.Б-42; ²Ученица, школа №9, Калуга;

³заведующий кафедрой, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹Manfils@yandex.ru; ²Manfils@yandex.ru; ³Manfils@yandex.ru

В этой системе по каналам обоих направлений передаются комбинации длин n , каждая из которых содержит сигнал обратной связи – подтверждение или переспрос (для кодирования сигнала обратной связи могут использоваться специальные позиции комбинаций, либо сигналом подтверждения может служить передача кодовой, а сигналом переспроса – не кодовой комбинации). Комбинации, в которых имеется сигнал подтверждения, содержит также информацию, защищенную кодом с обнаружением ошибки. Комбинации, в которых имеется сигнал переспроса, другой информации не содержит. Примем время передачи комбинации длин n за единицу. При получении комбинации с переспросом, либо при обнаружении ошибок, эта и $M-1$ последующих комбинаций стираются, а по обратному каналу посылается комбинация с переспросом и продолжается передача информации с возвращением на $M-1$ комбинаций.

Если же в принимаемой комбинации содержится сигнал, то по обратному каналу передается очередная комбинация с сигналом подтверждения.

По этой системе передаются сообщения, кодируемые в K комбинаций. Если в сообщении обнаружены ошибки, то время L , необходимое для его передачи при отсутствии переспросов, увеличивается на величину γM , где γ – случайная величина, равная числу переспросов комбинаций рассматриваемого сообщения, пока все они не будут приняты без обнаружения ошибок. Наша цель – найти распределение $p(\gamma)$ вероятностей того, что время передачи сообщения равно $L + \gamma M = T_\gamma$. Это распределение для канала без памяти найдено в работе [2]. В настоящей работе расчеты ведутся методом матричных производящих функций по модели источника ошибок, согласно которой состояния источника ошибок в прямом и обратном каналах образуют стационарную цепь Маркова с матрицей переходных вероятностей P и матрицами $E_m = \text{diag}\{E_m\}$, $m = 1, 2$ условных вероятностей ошибок в прямой ($m=1$) и обратном ($m=2$) каналах.

Обозначим через \mathcal{G} матрицу, (i,j) -й элемент которой равен вероятности того, что цепь Маркова перейдет из состояния i на позиции, предшест-

вующей передаче комбинации, в состоянии j на последней позиции этой комбинации и при этом в комбинации прямого и обратного каналов ошибки не обнаружены. Справедлива оценка

$$\mathfrak{G} \approx \prod_{mn}^2 \{ \wp_{mn}(0) + [P^n - \wp_{mn}(t < d_m)] 2^{-r_m} \},$$

где r_m - число проверочных символов, d_m - кодовое расстояние кода, используемого в m -м канале,

$$\wp_{mn}(t < d) = \sum_{t=0}^{d-1} \wp_{mn}(t),$$

матрицы $\wp_{mn}(t)$ имеют произвольную функцию

$$\Phi_{mn}(z) = \sum_{t=0}^n \wp_{mn}(t) z^t = (A_m + B_m z)^n, \text{ где } A_m = P(E - \mathfrak{E}_m), B_m = P\mathfrak{E}_m.$$

Из предыдущей формулы следует, что матрицы $\wp_{mn}(t)$ удовлетворяют соотношениям $\wp_{mn}(t) = \sum_{t_1} \wp_{mn_1}(t) \wp_{m, n-n_1}(t-t_1)$, которые удобно использовать для расчетов на ЭВМ.

Если матрицы A_1, A_2 примитивные, то при $n \rightarrow \infty$ справедливы асимптотические формулы

$$\wp_{mn}(t) \approx [-\Delta'_m(z_{m1})]^{-t-1} C_m(z_{m1}) [B_m C_m(z_{m1})]^t z_{m1}^{-n-1},$$

где z_{m1} - наименьший по модулю корень многочлена $\Delta_m(z) = \det(E - zA_m)$, $C_m(z)$ - матрица, присоединенная к $E - A_m z$.

Обозначим через $\wp(\gamma; k)$ матричную вероятность того, что время передачи сообщения из K блоков равно T_γ , т. е. матрицу, (i, j) -й элемент которой представляет собой вероятность перехода цепи Маркова из состояния на позиции t_0 , предшествующей передаче рассматриваемого сообщения в состоянии j на позиции $nT_\gamma + t_0$ и при этом время передачи сообщения равно T_γ . Можно показать, что матрицы $\wp(\gamma; k)$ имеют производящую функцию вида:

$$\Psi(z) = \sum_{\gamma=0}^{\infty} \wp(\gamma; k) z^\gamma = [(E - \mathfrak{G} R^{M-1} z)^{-1} H]^k,$$

где $R = P^n$, $H = R - \mathfrak{G}$. Из этой формулы следуют соотношения

$$\wp(\gamma; k) = \sum_{\gamma_1} \wp(\gamma_1, k_1) \wp(\gamma - \gamma_1; k - k_1) \text{ и, в случае когда матрица } \mathfrak{G} \text{ примитивная, получаем асимптотические оценки}$$

$$\wp(\gamma; k) \approx [-\Delta'(z_1)]^{-k} [B(z_1) H]^k \frac{z_1^{k-1}}{(k-1)!} z_1^{-\gamma},$$

где z_1 - наименьший по модуль корень многочлена $\Delta(z) = \det(E - \mathfrak{G}z)$, $B(z)$ - матрица, присоединенная к $E - \mathfrak{G}z$.

Интересующее нас распределение $P(\gamma)$ вероятностей того, что время передачи сообщения составит T_γ определяется по формуле $P(\gamma) = \wp_0 \wp(\gamma; k) I$,

где \wp_0 - матрица-строка начальных вероятностей, I - матрица-столбец из единиц.

В заключении отметим, что предлагаемые методы расчета и найденные выше матрицы могут быть использованы для оценки многих распределений, характеризующих верность передачи информации по каналам, модель источника ошибок описывается на основе цепей Маркова. Напри-

мер, вероятность того, что в смежных блоках длины n_1, n_2, \dots, n_v , первого канала возникнет t_1, t_2, \dots, t_v ошибок, может быть найдена по формуле $P_{n_1, n_2, \dots, n_v}(t_1, t_2, \dots, t_v) = \varphi_0 \varphi_{1n_2}(t_2) \dots \varphi_{1n_v}(t_v) I$, где матрицы $\varphi_{1n}(t)$, φ_0 , I определены выше.

Литература

1. У. Питерсон, Э. Уэлдон Коды, исправляющие ошибки. – М.: «Мир», 1991.

О СТОИМОСТИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО КАНАЛУ БЕЗ ШУМА

Волчёнков Д.Н.¹, Кузнецова А.А.², Горбунов А.К.³

¹Студент, группа ИНК.Б-42; ²Учащаяся лицея №9, Калуга;

³Заведующий кафедрой "Физика", профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹Manfils@yandex.ru; ²Manfils@yandex.ru; ³Manfils@yandex.ru

Обозначения. Пусть σ – некоторый алфавит, тогда σ^* и σ^∞ – множества всех слов и всех последовательностей в σ , $|A|$ – число букв в $A \in \sigma^*$. Если $A_1 = a_1 a_2 \dots a_k \in \sigma^*$ и $A_2 = a_1' a_2' \dots \in \sigma^* \cup \sigma^\infty$, то $A_1 A_2 = a_1 \dots a_k a_1' a_2' \dots \in \sigma^* \cup \sigma^\infty$. Слово $A_1 \in \sigma^*$ есть префикс $A_2 \in \sigma^* \cup \sigma^\infty$, что записывается $A_1 < A_2$, если $\exists A_3 \in \sigma^* \cup \sigma^\infty (A_2 = A_1 A_3)$. Если $A \in \sigma^*$ и $V \in \sigma^* \cup \sigma^\infty$, то $AV = UAA_1$ и $A < V$ равносильно $\forall A_1 \in V (A < A_1)$. Если V – некоторое множество, то $IVII$ – его мощность.

Пусть далее σ – конечный или счетный входной алфавит, β – конечный выходной алфавит, $\mathfrak{S}(\sigma)$ – некоторая \mathfrak{S} – алгебра подмножеств σ^∞ , содержащая все конечномерные цилиндры, $\mathfrak{S}_0(\beta)$ – \mathfrak{S} – алгебра подмножеств β^∞ , порожденная всеми конечномерными цилиндрами, p – вероятностная мера на $\mathfrak{S}(\sigma)$.

Источник сообщений по определению есть вероятностное пространство $\{\sigma^\infty, \mathfrak{S}(\sigma), p\}$. Мету множества $A \in \sigma^\infty$, где $A \in \sigma^*$, обозначим через $p(A)$ и назовем вероятностью слова A . Верхней и нижней энтропиями источника назовем $H = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1}{n} \sum_{|A|=n} p(A) \ln p(A)$ и $\underline{H} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1}{n} \sum_{|A|=n} p(A) \ln p(A)$ (H и \underline{H} определены для любого источника).

Отображение $\varphi: \sigma^\infty \rightarrow \beta^\infty$ назовем кодированием, если оно измеримо относительно $\mathfrak{S}(\sigma)$ и $\mathfrak{S}_0(\beta)$, то есть $\forall V \in \mathfrak{S}_0(\beta) (\varphi^{-1}(V) \in \mathfrak{S}(\sigma))$. Отображения совпадающие п.в. (по мере p) эквивалентны. Пусть $\mathfrak{S}(\beta)$ – \mathfrak{S} – алгебра, состоящая из множеств V , для которых $\varphi^{-1}(V) \in \mathfrak{S}(\sigma)$. Кодирование переносит меру p с $\mathfrak{S}(\sigma)$ на $\mathfrak{S}(\beta)$. По определению $\forall V \in \mathfrak{S}(\beta) (p(V) = p(\varphi^{-1}(V)))$. Фиксируем произвольно источник и кодирование.

Естественно считать, что префикс A некоторого сообщения A' декодируется по префиксу B последовательности $\varphi(A')$, если $A < \varphi^{-1}(B \beta^\infty)$ п.в. Для этого $n = 1, 2, \dots$ и любой $V \in \mathfrak{S}(\sigma^\infty)$ положим $t(n, V')$ равной минимальной длине префикса последовательности V' , по которому можно декодировать некоторое слово длины n , если такого префикса нет, то

1) Здесь и далее $\mathfrak{A}^{-1}(V)$ – полный прообраз множества V при отображении \mathfrak{A} , то есть $\mathfrak{A}^{-1}(V) = \{A \in \sigma^\infty / \mathfrak{A}(A) \in V\}$.

2) Здесь и далее «п.в.» означает «почти всюду».

$$t(n, B') = +\infty$$

$$\text{Формально } t(n, B') = \begin{cases} \min_{B \in V(n, B')} (B), & \text{если } V(n, B') \neq \emptyset; \\ +\infty, & \text{если } V(n, B') = \emptyset, \end{cases}$$

$$\text{где } V(n, B') = \{B \in \beta^\infty : B < B'; \exists A \in \sigma^* (|A|=n; A < \varphi^{-1}(B\beta^\infty) \text{ п.в.})\}.$$

Лемма 1. При любом натуральном n функция $t(n, B')$ определена почти всюду на β^∞ и измерима относительно $\mathfrak{S}(\beta)$.

Среднее число букв алфавита β , необходимых для декодирования первых n букв сообщения есть $c(n) = \int_{\beta} t(n) d\mu$. Верхней и нижней стоимостями назовем $\underline{C} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} C(n)$ и $\overline{C} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \overline{C}(n)$, которые определены для любого кодирования.

Основная теорема для каналов без шума.

А. При любых источнике и кодировании $\underline{C} \geq H \ln^{-1} \text{ПВП}$ и $\overline{C} \geq \underline{H} \ln^{-1} \text{ПВП}$.

В. Для любого источника существует кодирование, для которого $\underline{C} \geq H \ln^{-1} \text{ПВП}$ и $\overline{C} \geq \underline{H} \ln^{-1} \text{ПВП}$.

Замечание. В отличие от формулировок других авторов дешифруемость не требуется ни в «А», ни в «В».

Теорема 1. Если $\underline{C} < \infty$, то отображение φ почти всюду взаимно однозначно.

Теорема 2. Если источник бернуллиевский, $\|\sigma\| < \infty$, то кодирование побуквенное и дешифруемое, то $\underline{C} = \overline{C} < \infty$ и равны стоимости.

Следствие. Если выполнены условия Теоремы 2, то $(\{A \in \sigma^\infty : \varphi^{-1}(\varphi(A)) \cap \Pi > 1\}) = 0$.

Теорема 3. Если источник бернуллиевский, вероятности всех букв положительны, $\|\sigma\| < \infty$ тогда и только тогда, когда кодирование дешифруемо.

Теоремы 2, 3 сообщаются на случай конечно автоматного кодирования Марковских источников произвольного конечного порядка в предположении, что вероятности всех слов положительны, автомат сильно связный и кодирование дешифруемо.

Зависимость пропускной способности источника, обладающего определенной полосой пропускания, от отношения сигнала к шуму исследовал американский инженер и математик Клод Шеннон.

Теорема Шеннона ограничивает предельную пропускную способность источника I с заданной полосой пропускания F и отношением сигнал/шум S/N :

$$I = F \cdot \log_2(1 + S/N);$$

$$I/F \approx 1,44 S/N$$

Для стандартного телефонного канала $F=3\text{кГц}$, $N/S=30\text{db}$, следовательно, теоретический предел для публичной коммутируемой телефонной сети равен примерно 30кбит/с . Ослабление для телефонных скрученных пар составляет около 15 дБ/км , дополнительные ограничения возникают из-за перекрестных наводок.

Если рассмотреть сигнал с полосой F , то согласно теореме Найквиста частота стробирования должна быть равна или больше $2F$. При использовании больших частот стробирования можно получить при воспроизведении более высокие гармоники, но они при заданной полосе пропускания все равно будут подавлены. При N дискретных уровнях преобразования максимальный поток данных составит $2F \log_2(N)$ бит/с, что при $F=4\text{кГц/с}$ и $N=256$ даст 64 кбит/с . Практически при $F=4\text{кГц}$ даже в отсутствии шума нельзя получить скорость передачи более 8 кбит/с (если передается один бит за такт).

Список литературы

1. *К.Шеннон* Математическая теория связи// Работы по теории информации и кибернетики. – М.: ИЛ ., 1990.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ СОСТАВНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Волчёнков Д.Н.¹, Синякова М.А.², Горбунов А.К.³

¹Студент, группа ИНК.Б-42; ²Учащаяся школы №13, Калуга;

³заведующий кафедрой "Физика", доктор физико-математических наук, профессор

e-mail: ¹Manfils@yandex.ru; ²Manfils@yandex.ru; ³Manfils@yandex.ru

1. Сглаживание зашумленных изображений представляет собой важную частную задачу восстановления изображения и (или) улучшения их качества.

Возможность сглаживания изображения обусловлена различием статистических свойств изображения и шума. Следовательно, чтобы разработать сглаживающий алгоритм необходимо располагать описание этих свойств в явной форме. Такое описание легко получить, если имеются конструктивные модели источников изображений и шумов.

В этой работе вводится локально-анизотропная (но изотропная в среднем) модель составного источника изображений, в которой вероятность фрагмента изображения и, следовательно, его структура зависят от состояния источника, а это состояние управляется некоторым случайным процессом.

2. Одноцветное неподвижное изображение может быть описано как распределение яркости $U(t)$, где $t=(t^1, t^2)$ – координаты точек плоскости изображения. Будем рассматривать далее только дискретизированные изображения с целочисленными координатами, когда $t^1, t^2 = \dots -1, 0, 1 \dots$

Одним из наиболее распространённых и понятных сигналов является оцифрованный звук. Размер сигнала зависит от длительности звука и от частоты, с которой делают выборки (от частоты дискретизации). Элементы-числа сигнала зависят от текущей амплитуды звука, измеряемой устройством выборки и хранения.

Как уже было сказано, один из самых простых способов сглаживания, это

$$v(i) = 1/3(s[i+1] + s(i) + s[i-1]), \quad i \in Z \quad (1)$$

где s — исходный сигнал, v — сглаженный сигнал.

Способ (1) основан на сглаживающем свойстве суммирования, ведь каждому ясно, что средняя величина, вычисляемая как сумма многих случайных чисел, с ростом количества суммируемых чисел становится всё менее и менее похожей на случайную величину, которая, попросту говоря, и есть шум.

Но на чём основан выбор коэффициентов в уравнении (1)? На том, что так вычисляется среднее? Вроде бы да, но... А если взять не три слагаемых, а шестнадцать? А тридцать два?.. Почему всё более отстоящие от центрального элемента $s[i]$ отсчёты должны браться с одинаковым весом? Ведь может оказаться так, что связь между отсчётами будет постепенно ослабевать с ростом расстояния между ними?

Если рассмотреть пример произношения слова «арбуз» десять раз подряд и попытаться отследить связь между отсчётами записанного сигнала, то можно обнаружить ослабление зависимости между всё более отстоящими друг от друга отсчётами. Естественно, что если рассмотреть «большие расстояния», то звуки будут повторяться за счёт повтора одного и того же слова и зависимость будет нарастать и снова спадать, и так далее. Но, как правило, «большие расстояния» при сглаживании не рассматривают, так как шумы проявляются в окрестности отдельных звуков, а не слов, фраз и предложений. Шум, действующий на уровне слов или даже фраз — это явно искусственный (звуковые эффекты) или экзотический естественный (эхо). Это — уже «неслучайный» шум, требующий отдельного исследования. Здесь рассматривается «чистый» шум, который, говоря простым языком, раздражающе шумит и несколько не похож на какой-либо полезный сигнал.

На основании простых рассуждений становится очевидным, что количество слагаемых в (1) (порядок фильтра) должно зависеть от того, насколько сильно зависят друг от друга соседние отсчёты. Например, нет смысла брать фильтр тридцатого порядка, если наблюдается зависимость только лишь десяти отсчётов, следующих друг за другом. На самом деле даже не то, что «нет смысла», а — нельзя, так как если отсчёты практически не связаны, то начнётся чрезмерное сглаживание полезного сигнала («съедение» слогов). Но и фильтр третьего порядка здесь не будет оптимальным по степени использования информации о полезном сигнале, так как, как уже было сказано, наблюдается зависимость порядка десяти соседних отсчётов. Поэтому можно «попытать счастья» с помощью фильтра девятого порядка, естественно, увеличив нагрузку на процессор-вычислитель. Здесь уже требуется определить, скорее всего экспериментально, а стоит ли данная игра свеч?..

Как оценить насколько сильно связаны соседние отсчёты? Вычислить автокорреляционную функцию (АКФ). Желаящим можно предложить провести эксперимент по записи разных слов, фраз, повторов фраз и последующему построению АКФ (благо, например, программа Matlab позволяет это сделать, особо не задумываясь над кодом и формулами).

Так как всё-таки выбрать коэффициенты фильтра в (1)?

В данном случае удобно рассмотреть реакцию фильтра на единичное воздействие, то есть на сигнал вида $\dots 0, 0, 1, 0, 0, \dots$

Например, фильтр (1) даст следующий отклик (импульсную характеристику)

(...0,1/3,1/3,0,...) откуда мы можем сделать вывод, что после сглаживания длительность сигнала стала равна трём элементам. А если взять фильтр из пяти элементов?.. Правильно, длительность выходного сигнала будет равна пяти элементам. Насколько это полезно, определяется конкретной ситуацией (задачей).

Кстати, а долгожданный артефакт уже налицо! Импульсная характеристика (1) — это, по сути, прямоугольный импульс, несколько не являющийся гладким!.. Странно, да? А если взять пятиточечный фильтр? Тогда на выходе получим более длинный прямоугольный импульс, но с меньшей амплитудой. Не очень хорошо выходит... Простейший тест говорит о непригодности простого усреднения для сглаживания.

Ансамбль изображений представляет собой случайное поле. Пусть $P(u)$ – n – мерная совместная плотность вероятности фрагмента изображения $u = \{u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_n)\}$, состоящее из n элементов.

Допустим, что источник изображений может находиться в различных состояниях Θ ($\Theta = 1, \dots, M$). Пусть номер состояния есть случайная величина с известным распределением вероятности $\pi(\Theta)$ ($\sum_1^M \pi(\Theta) = 1$). Тогда $P(u) = \sum_{\Theta=1}^M P_{\Theta}(u) \pi(\Theta)$ (1)

где $P_{\Theta}(u)$ – n – мерная плоскость вероятности фрагмента при заданном состоянии источника.

Выражение (1) есть разложение плоскости $P(u)$ по системе плоскостей $P_{\Theta}(u), \Theta = 1, \dots, M$. такое представление особенно полезно, когда $P(u)$ можно хорошо аппроксимировать с помощью небольшого набора гауссовских распределений

$$P_{\Theta}(u) = C_{\Theta} \exp \{-1/2(u, R_{\Theta}^{-1}u)\}, \Theta = 1, \dots, M$$

где C_{Θ} – константа нормировки, R_{Θ}^{-1} – матрица, обратная ковариационной матрице R_{Θ} , соответствующей состоянию источника Θ .

Различные ковариационные матрицы R_{Θ} описывают разную статистическую структуру фрагмента изображения, проявляющуюся в характере корреляционных связей его элементов.

Матрицы R_{Θ} (или R_{Θ}^{-1}) и распределение вероятностей $\pi(\Theta)$ находились в ходе статистических измерений набора реальных изображений.

3. Пусть наблюдается изображения с аддитивно наложенным на него независимым от изображения гауссовским шумом, с известной ковариационной матрицей N . Требуется найти оптимальную (в смысле среднеквадратического отклонения) оценку $\hat{u}(t)$ элемента изображения $u(t)$ по n – элементному фрагменту наблюдаемого изображения $v_t = \{v(t+\tau_0), v(t+\tau_1), \dots, v(t+\tau_{n-1})\}$, где $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{n-1}$ – заданные точки, лежащие в окрестности точки $\tau_0 = (0,0)$.

Используя выражение (1) можно найти оценку

$$\hat{u}(t) = \sum_{\Theta=1}^M \pi(\Theta/v_t) \hat{u}_{\Theta}(t) \quad (2)$$

Величина $\hat{u}_{\Theta}(t)$ есть условная оценка $u(t)$ при заданном состоянии источника. Оценка $\hat{u}(t)$ есть взвешенная сумма условных оценок $\hat{u}_{\Theta}(t)$. Вес каждой условной оценки есть апостериорная вероятность состояния Θ при данном фрагменте v_t . Для $\hat{u}_{\Theta}(t)$ получим известную формулу Винера:

$$\hat{u}_{\Theta}(t) = \sum_{i=1}^M [(E + NR_{\Theta}^{-1})^{-1}]_{11} v_t(i) \quad \text{где } E \text{ – единичная матрица и } [A]_{11} \text{ –}$$

обозначает элемент матрицы A . апостериорная вероятность состояния

$$\pi(\Theta/v_t) = \pi(\Theta) \exp\{-1/2(v_t, R_{\Theta}^{-1}(E + NR_{\Theta}^{-1})^{-1}v_t)\} / \sum_{\Theta=1}^M \pi(\Theta) \exp\{-1/2(v_t, R_{\Theta}^{-1}(E + NR_{\Theta}^{-1})^{-1}v_t)\}.$$

Алгоритм (2) может быть интерпретирован следующим образом: каждое состояние источника соответствует некоторой структуре фрагмента изображения. Для каждой структуры применяется специфический режим сглаживания, осуществляемый соответствующим линейным фильтром. Если, например, при некотором Θ матрица R_{Θ}^{-1} описывает только горизонтальные корреляционные связи, то и оценка $\hat{u}_{\Theta}(t)$ должна получать сглаживанием только в горизонтальном направлении.

4. Для моделирования зашумленного изображения на оригинал накладывался белый гауссовский шум, генерируемый ЦВМ по методу, использующему БПФ.

Наблюдаемый фрагмент имел 5x5 элементов, причем оцениваемый элемент находился в центре фрагмента. Предполагалось, что источник может находиться в одном из пяти состояний и использовались пять матриц R_{Θ}^{-1} одна из которых соответствовала “изотропным” корреляционным связям и четыре были анизотропными.

Моделировалось также Винеровское сглаживание изображения.

Сравнение сглаженных изображений показывает, что алгоритм (2) приводит к меньшей нерезкости изображения, чем алгоритм Винера и следовательно, использованная модель более адекватна структуре изображения, чем гауссовская модель.

Использованная литература:

1. Д. Сакрисон Лекции по теории связи. – М.: “Мир”, 1992.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ О СИГНАЛАХ В УСЛОВИЯХ МАРКОВСКИХ ПОМЕХ

Аннадурдыев М.Ш.¹, Кузнецова А.А.², Горбунов А.К.³

¹студент группы ИНК Б-42; ²учащаяся лица №9; ³заведующий кафедрой Калужского филиала Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹cobra24d71@gmail.com; ²cobra24d71@gmail.com;
³cobra24d71@gmail.com

1. Рассмотрим одномерное стохастическое дифференциальное уравнение вида

$$dX(t) = a(t, X(t); \alpha, \beta)dt + \sigma(t, X(t))d\omega(t) + \int_{|x| \leq 1} xq(dt, dx) + \int_{|x| > 1} xp(dt, dx), X(0) = X_0, \quad (1)$$

где $a(t, x; \alpha, \beta)$ и $\sigma(t, x)$ - неслучайные функции, $x \in R, t \in [0, T], \omega(t)$ - стандартный винеровский процесс, $P(dt, dx)$ - не зависящая от $\omega(t)$ пуассоновская случайная мера с параметром $\Pi(t, dx; \beta)dt, q(dt, dx)$ - центрированная пуассоновская случайная мера, α и β - неизвестные параметры из некоторого допустимого множества.

Параметр α будем интерпретировать как некоторую неизвестную характеристику системы, а β - как параметр скачкообразной составляющей случайных помех, оказывающих воздействие на работу системы.

Предположим, что для всех допустимых значений параметров α и β существует и единственно решение уравнения (1) [1] и это решение $X(t)$ доступно наблюдению. По имеющейся реализации процесса $X(t), t \in [0, T]$ требуется делать выводы о значениях параметров α и β .

В докладе будет показано, что выводы, основанные на методе максимального правдоподобия (ММП), при определенных условиях будут асимптотически оптимальными, а в отдельных случаях оказываются эффективными даже если они делаются на основании фиксированного отрезка траектории процесса $X(t)$.

2. Применение ММП опирается на формулы для плотностей мер, соответствующих Марковским процессам, являющимся решениями уравне-

ний вида (1). Пусть $L^T = L^T(\alpha, \beta; X(t))$ - логарифм плотности меры $\mu_{\alpha, \beta}^T$, соответствующей решению уравнения (1), относительно «опорной» меры μ_0^T , соответствующей некоторому специально подобранному Марковскому процессу. Предположим, что $\mu_{\alpha, \beta}^T \ll \mu_0^T$ для всех допустимых α и β и всех $T > 0$ и L^T - дифференцируемая функция по α и β . Оказывается, что информант $\left(\frac{\partial L^T}{\partial \alpha}, \frac{\partial L^T}{\partial \beta}\right)$ представляет собой векторный стохастический интеграл по мартингалу и важное для рассматриваемых статистических задач его асимптотическое поведение (при $T \rightarrow \infty$) определяется поведением стохастических интегралов вида

$$I_f^T = \int_0^T f(t) d\omega(t)$$

и

$$I_\varphi^T = \iint \varphi(t, x) q(dt, dx).$$

Вопрос о предельном поведении нормированного некоторым образом стохастического интеграла вида I_f^T . Относительно интеграла вида I_φ^T можно сформулировать следующее:

Утверждение 1. Пусть $\Pi(t, dx)dt$ – структурная функция случайной меры $q(dt, dx)$. Если при $T \rightarrow \infty$

$$b(T) = \iint_0^T [\varphi(t, x)]^2 \Pi(t, dx) dt \rightarrow \infty, \quad (2)$$

$$[b(T)]^{-\frac{3}{2}} \iint_0^T [\varphi(t, x)]^3 \Pi(t, dx) dt \rightarrow 0, \quad (3)$$

то случайная величина $[b(T)]^{-\frac{1}{2}} I_\varphi^T$ асимптотически нормальна с параметрами (0,1).

Наложение в соответствии с утверждением 1 условий на функции $a(t, x; \alpha, \beta)$, $\sigma(t, x)$, $\Pi(t, A; \beta)$ обеспечивающих асимптотическую нормальность информанта, а также некоторых дополнительных условий позволяет утверждать существование состоятельной оценки максимального правдоподобия (ОМП) неизвестного вектора (α, β) , являющейся асимптотически

нормальной и асимптотически эффективной. В этих условиях асимптотически оптимальным будет также основанный на «отношении правдоподобия» критерий для проверки параметрических гипотез.

3. Приведем некоторые следствия из общих результатов.

Пусть $a(t, x; \alpha, \beta) = A(t, x; \beta) + \alpha a(t, x)$ и нас интересует только параметр системы α . ОМП $\widehat{\alpha}_T$ параметра α будет иметь вид

$$\widehat{\alpha}_T = \frac{\int_0^T \sigma^{-2}(t, X(t)) a(t, X(t)) \left\{ dX(t) - A(t, X(t); \beta) dt - \int_R xp(dt, dx) \right\}}{\int_0^T \sigma^{-2}(t, X(t)) a^2(t, X(t)) dt}, \quad (4)$$

Легко видеть, что это оценка является несмещенной. Если дополнительно известно, что при всех допустимых α процесс $X(t)$ будет эргодическим, а отношение $a(t, x)/\sigma(t, x)$ ограничено, то оценка (4) будет асимптотически нормальной и асимптотически эффективной (без дополнительных условий). Если же $a(t, x) \equiv a(t), \sigma(t, x) \equiv \sigma(t)$, то (4) дает несмещенную оценку с минимальной дисперсией и нормальным распределением при любом фиксированном T .

Теперь пусть нас интересует только параметр скачкообразных помех β и пусть $\Pi(t, A; \beta) = \beta \int_A \rho(t, x) \Pi_1(t, dx)$, где $\rho(t, x) > 0$, $\Pi_1(t, dx) dt$ - структурная функция пуассоновской меры в «опорном» процессе. Тогда ОМП $\widehat{\beta}_T$ неизвестного параметра β будет иметь вид

$$\widehat{\beta}_T = \frac{1}{\pi(t)} \iint_{0 R}^T p(dt, dx), \quad (5)$$

где

$$\pi(t) = \iint_{0 R}^T \rho(t, x) \Pi_1(t, dx) dt$$

Нетрудно проверить, что оценка (5) является несмещенной, ее дисперсия равна $\beta \pi^{-1}(T)$. Если $\pi(T) \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow \infty$, то она состоятельна, асимптотически эффективна и распределение величины $\sqrt{\pi(T)}(\widehat{\beta}_T - \beta)$ сходится слабо к нормальному закону с параметрами $(0, \beta)$.

Список литературы

1. Гихман И.И., Скороход А.В. Стохастические дифференциальные уравнения, Киев, Наукова думка, 1991 г. – 354 с.

АДАПТИВНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ НА ОСНОВАНИИ НАБЛЮДЕНИЯ СВЯЗАННЫХ С НИМИ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ.

Аннадурдыев М.Ш.¹, Горбунов А.К.²

¹студент группы ИНК Б-42; ²Заведующий кафедрой Калужского филиала Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹cobra24d71@gmail.com; ²cobra24d71@gmail.com

Распознавание образов (объектов, процессов, ситуаций) всегда происходит на основе наблюдения некоторых физических сигналов-носителей информации об этих «образах».

Законы распределения вероятностей, вообще говоря, случайных наблюдаемых сигналов обычно известны не полностью, а в лучшем случае, с точностью до совокупности параметров «обстановки», в которой происходит распознавание.

В докладываемой работе синтезируется алгоритм распознавания образов в случае, когда во всех ситуациях закон распределения наблюдаемых сигналов одинаков и зависит как от неизвестных параметров обстановки, так и от некоторых информативных параметров. Последние для различных распознаваемых ситуаций могут и совпадать, но их законы распределения для этих ситуаций различны.

При произвольной функции потерь составлен средний риск, связанный с распознаванием образов. В предположении о малости ошибок оценки информативных параметров и параметров обстановки этот средний риск вычислен приближенно и минимизирован выбором гипотез о распознаваемых ситуациях.

Алгоритм выбора s -го образа ($s=1, 2, \dots, m$) имеет при этом вид:

$$\sum_{i=1}^m w_{is} p_i Q_i(x, \lambda^*) \leq \sum_{i=1}^m w_{ij} p_i Q_i(x, \lambda^*)$$

при любых $j \neq s$.

Здесь w_{ij} - потери при выборе j -го образа, тогда как в действительности имеет место i -ая ситуация; p_i - априорная вероятность i -ой ситуации;

$$Q_i(x, \lambda^*) = \begin{cases} p_i'(\lambda^*) & \text{при } \lambda^* \in U_{i=1}^m \Lambda_i \\ \max_{\lambda \in \Lambda_i, \alpha} P\left(\frac{x}{\lambda}, \alpha\right) & \text{при } \lambda^* \notin U_{i=1}^m \Lambda_i \end{cases}$$

$p'_i(\lambda)$ - априорная плотность вероятности информативных параметров $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_k\}$ в i -ой ситуации; $\lambda^*(x)$ - оценка максимального правдоподобия вектора λ , полученная совместно с оценкой вектора параметров обстановки $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$, т.е. с помощью решения системы уравнений

$$\frac{\partial}{\partial \beta^{(i)}} \ln P\left(\frac{x}{\beta}\right) = 0,$$

($i=1, 2, \dots, k+r$), где $\beta = \{\alpha, \lambda\}$ – составной вектор, а $P(x/\beta)$ – представляет собой закон распределения вероятностей для наблюдаемых данных (сигнала) $x = \{x_1, \dots, x_n\}$.

Для двувальтернативных задач алгоритм принятия 1-го решения (образ с номером 1) приводится к виду:

$$\frac{Q_1(x, \lambda^*)}{Q_2(x, \lambda^*)} \geq \frac{p_2 w_{21} - w_{22}}{p_1 w_{12} - w_{11}}$$

При выполнении противоположного неравенства принимается второе решение.

Приведенный алгоритм проиллюстрирован примером распознавания сигналов с различающимися законами распределения амплитуд, обладающих случайными фазами, при приеме этих сигналов в шумах. Предполагается, что случайные фазы не несут информации о классе объекта, при наличии которого получен сигнал, шумы являются гауссовскими.

Законы распределения амплитуд представлены в виде:

$$p'_i(\lambda) = \frac{1}{n_i!} \left(\frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2} \right)^{n_i} e^{-\frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2}} \frac{\lambda}{\sigma_i^2},$$

где $i=1, 2; 0 \leq \lambda < \infty$

Выбор параметров $n_1, n_2, \sigma_1, \sigma_2$ можно обеспечить описание широкого класса распределений вероятности.

Найден вид алгоритма распознавания, соответствующего указанным сигналам и параметрам и рассчитаны вероятности правильного распознавания первой и второй ситуации.

Физически рассмотренная задача может относиться, например, к случаю распознавания объектов одинаковой формы на основании наблюдения отраженных от них радиолокационных сигналов при различающихся статистически отражающих поверхностях объектов.

При прохождении сигналов через различные звенья ОЭС (оптическую систему, приемник излучения, усилитель и т. д.) сигнал изменяется. Эти изменения обусловлены как свойствами самого сигнала, так и свойствами звена, через которое этот сигнал проходит. При этом возникают две основные задачи: прямая – нахождение выходного сигнала по заданным свойствам звена и параметрам и характеристикам сигнала, и обратная – восстановление входного сигнала по известным параметрам и характеристикам

выходного сигнала и заданным свойствам звена, через которое этот сигнал прошел. В рамках теории линейной фильтрации линейным считается такое звено, свойства которого не зависят от параметров входного сигнала. Эти свойства задают двумя основными характеристиками: частотной и импульсной. В соответствии с этим различают два метода описания прохождения сигналов через линейные звенья – частотный метод и метод суперпозиции.

Основной характеристикой звена при частотном методе описания является частотная характеристика $K(j\omega)$, определяемая как отношение преобразования Фурье выходного сигнала к преобразованию Фурье соответствующего входного сигнала.

Основной характеристикой линейного звена при использовании метода суперпозиции при описании прохождения сигнала является импульсная характеристика. Она определяется как функция, описывающая выходной сигнал, когда входной сигнал представляется δ -функцией. Импульсную характеристику можно рассматривать как реакцию на очень короткое входное воздействие значительной амплитуды.

Между частотным методом, описывающим преобразование сигнала в частотной области, и методом суперпозиции, при котором операции производятся в области сигналов, существует прямая взаимосвязь, поскольку частотная характеристика является Фурье-образом импульсной характеристики, и наоборот, импульсная характеристика может быть найдена обратным преобразованием Фурье частотной характеристики.

Ни одному из методов описания прохождения сигнала через линейные звенья не может быть отдано предпочтение. Все определяется характером сигналов и производимыми расчетами.

Список литературы

1. Сакрисон Д. Лекции об аналоговой связи. М., “Мир”, 1974 г. – 166 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ РОСТА МУЛЬТИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Маслов Е.В.¹, Радченко И.Н.²

¹студент группы ИТД.Б-42; ²доцент, кандидат физико-математических наук

e-mail: ¹rtzaro120@yandex.ru; ²rin-kf@yandex.ru

Кислород и углерод – основные примеси в кремнии для фотовольтаических применений. Определенные типы дефектов на основе этих примесей уменьшают время жизни неосновных носителей в объемном материале и увеличивают рекомбинационную активность дислокаций. Кроме того, включения на основе углерода и кислорода являются местами агломерации металлических примесей, что существенно ухудшает механические свойства пластин мульткристаллического кремния и качество изготавливаемых из них структур. Поэтому вопросы контроля содержания примесей кислорода и углерода, а также характера их распределения по высоте слитков мульткристаллического кремния имеют важное значение для производства высококачественных фотопреобразователей солнечной энергии.

В статье представлены результаты экспериментального определения коэффициентов распределения углерода и кислорода по высоте слитков мульткристаллического кремния, легированного бором (с удельным сопротивлением $(2 - 4) \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$), полученных методом направленной кристаллизации на установках DSS-240 (USA).

Из слитков вырезали контрольные пластины толщиной $(2 \pm 0,4) \text{ мм}$, которые предварительно механически шлифовали и подвергали химической обработке полирующим травителем. Определение концентраций углерода замещения и межузельного кислорода в подготовленных образцах проводили с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра ФСМ-1201.

Средние концентрации углерода и кислорода в пластинах составили $(2 - 5) \cdot 10^{17} \text{ (ат/см}^3\text{)}$ и $(0,5 - 3) \cdot 10^{17} \text{ (ат/см}^3\text{)}$, соответственно.

Концентрация примеси в процессе направленной кристаллизации определяется как:

$$C_{\text{ТВ}} = K_{\text{эфф}} C_0 (1 - g)^{K_{\text{эфф}} - 1} \quad (1)$$

Здесь $C_{\text{ТВ}} [\text{ат/см}^3]$ – концентрация примеси в кристалле; $K_{\text{эфф}}$ – эффективный коэффициент распределения примеси в расплаве кремния; $C_0 [\text{ат/см}^3]$ – начальная концентрация примеси в расплаве кремния.

На основе полученных с помощью ИК Фурье-спектрометра результатов измерений $C_{\text{тв}}$ для кислорода и углерода, а также известных величин g (определяемых как отношение высоты вырезания пластины к общей высоте слитка) уравнение направленной кристаллизации было решено относительно значений начальных концентраций углерода и кислорода в расплаве кремния ($C_{0(\text{C})}$ и $C_{0(\text{O}_2)}$) и их эффективных коэффициентов распределения ($K_{\text{эфф}(\text{C})}$ и $K_{\text{эфф}(\text{O}_2)}$).

Решение системы уравнений (для бокового и центрального блоков) проводили с использованием программы MathCAD 15 (Solving Blocks, процедура Given/Find). Расчеты проводили отдельно для боковых и центральных блоков, после чего аналогичный расчет был осуществлен по усредненным значениям концентраций углерода и кислорода. Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица 1

Результаты расчетов в MathCad

Положение блока в слитке	Рассчитанная начальная концентрация примеси в расплаве, C_0		Рассчитанный коэффициент распределения примеси, $K_{\text{эфф}}$	
	Углерод	Кислород	Углерод	Кислород
Центральный блок	$2,49 \cdot 10^{17}$	$1,412 \cdot 10^{17}$	0,712	1,892
Боковой блок	$2,36 \cdot 10^{17}$	$1,414 \cdot 10^{17}$	0,672	1,910
Усреднение по данным центрального и бокового блоков	$2,43 \cdot 10^{17}$	$1,413 \cdot 10^{17}$	0,693	1,901

По данным Wacker Silicon Calculator, которые можно считать справочными, коэффициенты распределения углерода и кислорода в кремнии составляют величины 0,07 и 0,85, соответственно. Расчетные данные, представленные в таблице, позволили установить, что:

- полученный коэффициент распределения углерода при росте слитков мультикремния в 10 раз больше справочного значения;
- полученный коэффициент распределения кислорода более, чем в два раза превышает приведенное значение.

Такое существенное различие между данными, полученными экспериментально и справочными данными, может быть объяснено именно большой долей механизма преципитации (образования включений второй фазы) в выращенных слитках мультикристаллического кремния. Можно считать, что экспериментальное определение коэффициентов распределения кислорода и углерода может служить оценочным критерием качества слитков и использованных для их роста исходных материалов.

Список литературы

1. *H. J. Möller, L. Long, M. Werner, D. Yang*, "Oxygen and Carbon Precipitation in Multicrystalline Solar Silicon," *Physica Status Solidi (a)*, vol. 171, no. 1, pp. 175-189, 1999.
2. *H. J. Möller, C. Funke, A. Lawrenz, S. Riedel, M. Werner*, "Oxygen and lattice distortions in multicrystalline silicon," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 72, no. 1-4, pp. 403-416, 2002.
3. *V. V. Bolotov, M. D. Efremov, I. Babanskaya, K. Schmalz*, "Raman study of mechanical stresses in processes of oxygen precipitation in silicon," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 21, no. 1, pp. 49-54, 1993.
4. *Deren Yang, Liben Li, Xiangyang Ma, Ruixin Fan, Duanlin Que, H. J. Möller*, "Oxygen-related centers in multicrystalline silicon," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 62, no. 1-2, pp. 37-42, 2000.
5. *S. Martinuzzi, I. Perichaud*, "Influence of Oxygen on External Phosphorus Gettering in Disordered Silicon Wafers," *Materials Science Forum*, vol. 143-147, pp. 1629-1634, 1994.

ПОСТРОЕНИЕ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ ДЛЯ ИСКАЖЕННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МАРКОВСКОГО ТИПА

Абдурахманов Акмал Шавкатович¹, Горбунов Александр Константинович²

¹студент гр. МХТ.Б-41; ²зав. кафедры ФН4-КФ, профессор, д.ф.-м.н.

e-mail: ¹abaksha28@gmail.com; ²kf_mgtu_fiz@mail.ru

Введение. Обычно цифровые данные, передаваемые по каналу связи, содержат последовательности отсчетов $X_n = x_1, x_2, \dots, x_n$, где каждый x_i принадлежит подмножеству $G(x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-s}) = G(X_s^{(i)})$, $i = \overline{s+1, n}$ всего подмножества G_0 возможных значений (удовлетворяет s -связным ограничениям марковского типа). Каждый x_i передается m -разрядным q -ичным числом ($m \geq \log_q N$, N - число элементов в G_0), а X_n - n числами (mn символами). Устранение избыточности такого описания X_n достаточно сложно, и часто целесообразно использовать её для коррекции ошибок, возникающих в канале связи.

Пусть при передаче X_n принята $Y_n = X_n + E_n$, где E_n - вектор ошибок. Любой "сбой" $\theta_t(y_t \in \bar{G}(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-s}) = \bar{G}(Y_s^{(t)}))$ вызван искажением, по крайней мере, одного из отсчетов $Y_s^{(t)}$ или y_t . Будем искать оценку максимального правдоподобия X_n^* для Y_n . Для симметричного канала без памяти $d(X_n^*, Y_n) = \min d(X_n', Y_n)$, где d - расстояние Хэмминга, а минимум берется по всем X_n' , удовлетворяющим заданным ограничениям. Тогда $E_n^* = Y_n - X_n^*$ - "решение" минимального веса. Ниже рассмотрен алгоритм поиска $E_n^*(X_n^*)$.

Зоны восстановления для поиска E_n^* . Обозначим через $L(c, r)$ совокупность $2r$ отсчетов $y_{c-r}, y_{c-r+1}, \dots, y_{c+r}$, и сформулируем некоторые свойства E_n^* .

Теорема 1. Если $E^*(d)$ - решение минимального веса относительно некоторой совокупности сбоев, то корректируемые отсчеты (ненулевые компоненты $E^*(d)$) заключены в «зоны восстановления» $L(c, sd - \alpha)$, где

c и $\alpha \geq (s-1)/2$ определяются видом совокупности сбоев и связностью s и не зависит от d . Для одиночного сбоя $\theta_t: c = t - s/2, \alpha = (s-1)/2$.

Теорема 2. Если $E_{k-1}^*(d_{k-1})$ и $E_k^*(d_k)$ - "изолированные" решения минимального веса относительно $(k-1)$ -ой и k -ой совокупностей сбоев, $L(c_{k-1}, sd_{k-1} - \alpha_{k-1})$ и $L(c_k, sd_k - \alpha_k)$ - соответствующие зоны восстановления и $R(d_{k-1}, d_k) = (c_k + sd_k - \alpha_k) - (c_{k-1} + sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) > s$, то $E_n^* = E_{k-1}^* + E_k^*$ - общее решение минимального веса.

Таким образом, для определения d_k и E_k^* достаточно последовательно искать решение веса $w = w_0, w_0 + 1, \dots$ в зоне восстановления $L(c_k, sw - \alpha_k)$, все время контролируя $R(d_{k-1}, w)$. Здесь w_0 -наименьший вес решения, при котором уже целесообразно рассматривать всю совокупность сбоев совместно.

Ситуации, возникающие при таком развитии зоны восстановления, рассмотрены в следующих теоремах.

Теорема 3. Если условие теоремы 2 не выполняется, т.е. при $w < w_0$ ($0 \leq R(d_{k-1}, w_0) \leq s-1$) не найдено $E_k^*(w)$, то следует "отменить" найденное $E_{k-1}^*(d_{k-1})$ и перейти к поиску совместного (для обеих совокупностей сбоев) решения минимального веса $d_{k-1} + w_0$ в зоне $L[c, s(d_{k-1} + w_0) - \alpha]$, где $c = c_k - (sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - \frac{1}{2}R(d_{k-1}, w_0)$, $\alpha = \alpha_{k-1} + \alpha_k - \frac{1}{2}R(d_{k-1}, w_0)$.

Теорема 4. Захват зоной восстановления $L(c_k, sw - \alpha_k)$ еще не рассматривавшегося сбоя $\theta_t, 0 < t - (c_k + sw - \alpha_k) \leq s$, не требует изменения c_k и α_k .

Итак, формирование $L(c_k, sw - \alpha_k)$ происходит в результате многократного объединения зон восстановления и захвата сбоев справа, начиная с зон восстановления одиночных сбоев. Поскольку для последних c и α известны (см. теорему 1), теоремы 3 и 4 полностью определяют правила нахождения этих параметров.

Алгоритм построения E_n^* . Пусть $\alpha \rightarrow \beta$ означает замену β на α , $\varphi(\alpha:\beta) = 1$, если $\alpha > \beta$, и $\varphi(\alpha:\beta) = 0$, $\alpha \leq \beta$. Сформулируем алгоритм построения E_n^* .

- <1>. $s \rightarrow i, 0 \rightarrow k, c_k, \alpha_k, d_k$ и переход к <2>;
- <2>. $k+1 \rightarrow k$ и переход <3>;
- <3>. $i+1 \rightarrow i$ и проверка условия $y_i \in G(Y_s^{(i)})$. В отсутствии сбоя переход к <3>, в противном случае - к <4>;
- <4>. $i - s/2 \rightarrow c_k, (s-1)/2 \rightarrow \alpha_k, 1 \rightarrow w$ и переход к <5>;
- <5>. $R(d_{k-1}, w) : (s-1)$. Если $\varphi = 1$ - переход к <6>, если $\varphi = 0$ - к <9>;

<6>. поиск $E_k^*(w)$ в $L(c_k, sw - \alpha_k)$. Если найдено – переход к <7>, если нет – к <8>;

<7>. $w \rightarrow d_k$, $c_k + sd_k - \alpha_k + 1 \rightarrow i$ и переход к <2>;

<8>. $w + 1 \rightarrow w$ и переход к <5>;

<9>. отказ от $E_{k-1}^*(d_{k-1})$ и объединение зон:

$$c_k - (sd_{k-1} - \alpha_{k-1}) - \frac{1}{2}R(d_{k-1}, w) \rightarrow c_{k-1},$$

$$\alpha_{k-1} + \alpha_k - \frac{1}{2}R(d_{k-1}, w) \rightarrow \alpha_{k-1},$$

$$\alpha_{k-1} + w \rightarrow w, k - 1 \rightarrow k \text{ и переход к <5>.$$

Так как алгоритм целиком основан на содержании теорем 1 ÷ 4, то для любой Y_n он позволяет найти X_n^* . Интересно его сходство с алгоритмом последовательного декодирования.

Поиск $E^*(w)$ в $L(c, sw - \alpha)$. Ограничения удобно описать матрицей $A = \|Q_{ux}\|$, размера $N^i \times N$, где $Q_{ux} = 1$, если $(x_i = x) \in G(X_s^{(i)} = u)$, и $Q_{ux} = 0$ в противном случае. Сбой между $y_i = x$ и $Y_s^{(i)} = u$ имеет место в том и только в том случае, когда $Q_{ux} = 0$.

Для построения $E^*(w)$ в $L(c, sw - \alpha)$ используем алгоритм Витерби. Для этого построим таблицу с элементами $d_{i+1}(v) = \frac{1}{Q_{ux}} \left[d(x, y_{i+1}) + \min_u d_i(u) \right]$, $i = \overline{c - sw + \alpha, c + sw - \alpha}$, $u = u_1, u_2, \dots, u_s$, $v = u_2, u_3, \dots, u_s$, $x(u_j = \overline{1, N}, j = \overline{1, s})$ и принято $\min_u d_{c-sw+\alpha}(u) = 0$. Тогда $w^* = d_{c-r-1}(x = y_{c-r+1})$ - минимальный вес решения в $L(c, r)$, где $r = sw - \alpha$. Последовательно увеличивая w и строя каждый раз таблицу, наконец, получим $w^* = w = d$. Позиция минимального элемента последнего столбца соответствует $x_{c+r-s+1}^*, x_{c+r-s+2}^*, \dots, x_{c+r}^*$. Остальные отсчеты X_n^* определяются справа налево при заданных s предыдущих x_i^* .

Сложность алгоритма. Если при рекуррентном построении таблицы помнить лишь μ последних столбцов, то потребуется многократное воспроизведение $2r, 2r - s - \mu + 1, 2r - s - 2\mu + 1, \dots$ столбцов этой таблицы при $w^* = w = d$. Тогда требуемый объем памяти составляет

$$S = m\mu N^s + N^{s+1} \text{ бит}$$

(на запоминание столбцов и матрицы A), а среднее число элементарных арифметических операций, необходимых для восстановления одного отсчета

$$\bar{c} < \gamma_1 N^h m \varepsilon + \gamma_2 n N^h m^2 \varepsilon^2,$$

где ε - вероятность искажения одного символа, $s \leq h \leq s+1$, γ_1 и γ_2 - вычислительные константы. Простые рассуждения показывают, что на самом деле \bar{c} практически не зависит от n , и в полученном выше выражении зависимость от n обусловлена грубым методом получения оценки.

Список литературы

1. *Клейнрок Л.* Коммуникационные сети. Стохастические потоки и задержки сообщений. – М.: Наука, 1970. – 256с.

СОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ ОЦЕНКИ

Абдурахманов Акмал Шавкатович¹, Горбунов Александр Константинович²

¹студент гр. МХТ.Б-41; ²зав. кафедры ФН4-КФ, профессор, д.ф.-м.н.

e-mail: ¹abaksha28@gmail.com; ²kf_mgtu_fiz@mail.ru

Пусть $\zeta(x) = \xi(x) + f(x)$ - /вещественное/ случайное поле на m -мерном евклидовом пространстве R^m , причем $\xi(x)$ - измеримое случайное поле с $\sup_{x \in R^m} E[\xi(x)]^2 < \infty$ и $E\xi(x) \equiv 0$, а $f(x)$ - детерминированный тренд; априори известно, что f принадлежит данному r -мерному линейному пространству измеримых функций $M(1 \leq r \leq \infty)$ или, иначе говоря, $f(x) \equiv \sum_{i=1}^r a^i f_i(x)$, где $\{f_1, \dots, f_r\}$ - базис в M , а a^i - неизвестные "коэффициенты регрессии". Требуется оценить тренд f по наблюдаемой реализации поля ζ на множестве $A \subset R^m$.

Рассмотрим произвольную функцию $p(\cdot)$, обладающую свойствами:

1. $p(x) \geq 0$ на A и $p(x) = 0$ вне A ;
2. функция $p(\cdot)$ измерима и $\int p(x) dx = 1$;
3. $\int [f(x)]^2 p(x) dx < \infty$ для любой функции $f \in M$.

Обозначим: L_p^2 - гильбертово пространство всех измеримых функций f , для которых $\int [f(x)]^2 p(x) dx < \infty$, со скалярным произведением $\langle f, g \rangle = \int f(x)g(x)p(x)dx$; если $\{f_1, \dots, f_r\}$ - базис в M , то $g^{ij} = \langle f_i, f_j \rangle$; $\Gamma = \{g^{ij}\}$ /матрица Грама этого базиса/. С вероятностью 1 $\zeta(\cdot) \in L_p^2$ и для любой функции f из L_p^2 определено скалярное произведение $\langle \zeta, f \rangle = \int \zeta(x)f(x)p(x)dx$. С функцией $p(\cdot)$ мы можем связать несмещенную оценку тренда $f(x)$: $\hat{f}(x) \equiv \sum_{i=1}^r \hat{a}^i f_i(x)$, где $\hat{a}^i = \sum_{j=1}^r d^{ij} \langle \zeta, f_j \rangle$ /с вероятностью 1 $\hat{f}(\cdot)$ является проекцией функции $\zeta(\cdot)$ на пространство

M /. В дальнейшем $\{p_n, n=1, 2, \dots\}$ - последовательность функций со свойствами 1-3; $\hat{f}_n, \hat{a}_n^i, g_n^{ij}$ и Γ_n строятся, как и раньше, при $p = p_n$.

Последовательность оценок $\{\hat{f}_n(\cdot), n=1, 2, \dots\}$ называется состоятельной, если, коков бы ни был тренд f на M , при любом $x \in R^m$ $\lim_{n \rightarrow \infty} E[\hat{f}_n(x) - f(x)]^2 = 0$, и сильно состоятельной, если с вероятностью 1 $\lim_{n \rightarrow \infty} \hat{f}_n(x) \equiv f(x)$; разумеется, это равносильно состоятельности в соответствующем смысле оценок $\{\hat{a}_n^i\}$ при $i=1, \dots, r$. Мы укажем для некоторых типов пространств M условия, при которых последовательность $\{p_n\}$ определяет состоятельную или сильно состоятельную последовательность оценок $\{\hat{f}_n\}$. По мере надобности мы будем вводить следующие условия:

(A) последовательность $\{p_n\}$ "не вырождает" базис $\{f_1, \dots, f_r\}$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\det \Gamma_n}{\prod_{i=1}^r g_n^{ii}} > 0$$

/при $r=2$ фигурирующая здесь дробь равна квадрату синуса угла между f_1 и f_2 в L_p^2 /;

(B) при любом $y \in R^m$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int |p_n(x+y) - p_n(x)| dx = 0;$$

(C) существует последовательность положительных чисел k_1, k_2, \dots такая, что $k_n p_n(x)$ - возрастающая последовательность функций;

(D) существует константа $K < \infty$ такая, что $|B_n - B_n| \leq K$ при всех n ; здесь $|A|$ - внешняя мера Лебега множества A ,

$$B_n = \{(x, t) : x \in R^m, t \in R, 0 < t < p_n(x)\},$$

$$B_n - B_n = \{z : z \in R^{m+1}, z = x - y, x \in B_n, y \in B_n\}.$$

Будем говорить, что последовательность $\{p_n\}$ регулярна, если существуют последовательность функции $\{\tilde{p}_n\}$ со свойствами 1-3, (C) и (D) и константа $K' < \infty$ такие, что $p_n(x) \leq K' \tilde{p}_n(x)$ при всех $x \in R^m$. Разумеется, всякая последовательность $\{p_n\}$ со свойствами (C) и (D) регулярна. Регулярная последовательность обладает свойством (D).

Пример 1. Пусть $r(A)$ - верхняя грань радиусов шаров, содержащихся в множестве $A \subset R^m$. Если при любом n носитель A_n функции p_n - ограниченное выпуклое множество, функция p_n на A_n выпукла вверх и $\lim_{n \rightarrow \infty} r(A_n) = \infty$, то последовательность $\{p_n\}$ обладает свойствами (B) и (D).

Пример 2. Пусть $p(x), x \in R^m$, - ограниченная функция с ограниченным носителем и со свойствами 1-3, $\{\alpha_n\}$ - последовательность положительных чисел. Последовательность функций $p_n(x) = \alpha_n p(\alpha_n x)$ регулярна и обладает свойством (B), если $\alpha_n \rightarrow 0$.

Пример 3. Пусть $A_n = \{x = (x_1, \dots, x_m) : 0 \leq x_i \leq T_{in}\}$, $T_{in} \uparrow \infty$ при $n \uparrow \infty$ ($i = 1, \dots, r$) и $\chi_{A_n}(\cdot)$ - индикатор множества A_n . Согласно примеру 1 последовательность $p_n(x) = \frac{1}{|A_n|} \chi_{A_n}(x)$ обладает свойствами (B)-(D). Она обладает также свойством (A) относительно любого базиса $\{f_1, \dots, f_r\}$, состоящего из степенных функций: $f_i(x) = x_1^{\alpha_{i1}} \dots x_m^{\alpha_{im}}$ ($\alpha_{ij} \geq 0$).

Свойством (A) относительно таких базисов обладают и последовательности, рассмотренные в предыдущем примере. Любая последовательность со свойством (B) не вырождает базисы, состоящие из равномерно почти периодических функций.

Напомним, что для любой равномерно почти периодической функции $f(\cdot)$ при любом $\lambda \in R^m$ определен коэффициент Фурье $\hat{f}(\lambda) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{|\sum_n|} \int_{\sum_n} e^{-i(\lambda, x)} f(x) dx$ (\sum_n - шар радиуса n в R^m). Счетное множество $S_f = \{\lambda : \hat{f}(\lambda) \neq 0\}$ назовем спектром функции f . Спектром семейства почти периодических функций Φ назовем множество $S_\Phi = \bigcup_{f \in \Phi} S_f$.

Спектр пространства почти периодических функций M совпадает со спектром любого его базиса. Если $\xi(x), x \in R^m$, - однородное в широком смысле случайное поле, то S_ξ означает множество точек разрыва его спектральной меры $F(\cdot)$: $S_\xi = \{\lambda : F(\{\lambda\}) \neq 0\}$.

Теорема 1. Пусть пространство M состоит из почти периодических функций. Если поле $\xi(x)$ однородно в широком смысле и $\{p_n\}$ удовлетворяет условию (B), то условие $S_M \cap S_\xi = \emptyset$ необходимо и достаточно для состоятельности последовательности $\{\hat{f}_n\}$. Если поле $\xi(x)$ однородно в

узком смысле, а последовательность $\{p_n\}$ регулярна и обладает свойством (B), то условие $S_M \cap S_\xi = \emptyset$ необходимо и достаточно и для сильной состоятельности $\{\hat{f}_n\}$.

Теорема 2. Пусть некоторый базис $\{f_1, \dots, f_r\}$ в M обладает свойством (A) и $\lim_{n \rightarrow \infty} \int [f_i(x)]^2 p_n(x) dx = \infty$. Тогда последовательность $\{\hat{f}_n\}$ состоятельна; если поле $\xi(x)$ однородно в узком смысле и $\{p_n\}$ регулярна – сильно состоятельна.

Список литературы

1. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. Стохастические потоки и задержки сообщений. – М.: Наука, 1970. – 256с.

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНОК НАИБОЛЬШЕГО ПРАВДОПОДОБИЯ В УСЕЧЕННЫХ ВЫБОРКАХ

Корабельникова Ю.В.¹, Горбунов А.К.²

¹студент; ²профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹j.strify2012@yandex.ru; ²j.strify2012@yandex.ru

Приводится метод максимального правдоподобия для оценки параметров функций распределения в усеченных выборках и устанавливается его асимптотическая эффективность. Численное решение возникающей экстремальной задачи отыскания этих оценок осуществляется методами поисковой оптимизации.

Ключевые слова: Асимптотическая эффективность оценок наибольшего правдоподобия в усеченных выборках.

ASYMPTOTIC EFFICIENCY ESTIMATES, MAXIMUM LIKELIHOOD APPROACH IN TRUNCATED SAMPLE.

Корабельникова Ю.В.¹, Горбунов А.К.²

¹студент; ²профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹j.strify2012@yandex.ru; ²j.strify2012@yandex.ru

Приводится метод максимального правдоподобия для оценки параметров функций распределения в усеченных выборках и устанавливается его асимптотическая эффективность. Численное решение возникающей экстремальной задачи отыскания этих оценок осуществляется методами поисковой оптимизации.

Keywords: Асимптотическая эффективность оценок наибольшего правдоподобия в усеченных выборках.

Пусть полезный сигнал x имеет функцию распределения $f(x, \theta)$, параметры θ которой необходимо оценить по выборке $x_i (i = 1, \dots, n)$.

Регистрация сигнала x производится устройством, которое имеет зону чувствительности X . Если $x_j \in X$, то сигнал не регистрируется. Известно, что количество не зарегистрированных элементов выборки

равно $N - n$, где N - объем выборки.

Рассмотрим второй пример. Пусть проводятся ускоренные испытания N изделий. За время X в моменты $x_i (i = 1, \dots, n)$ отказало $n < N$ изделий. Необходимо оценить функцию распределения отказов.

Эти два примера демонстрируют, где возникают усеченные выборки. Метод наибольшего правдоподобия для оценки параметров функций распределения по усеченным выборкам состоит в следующем:

$$\sum_{i=1}^n \ln f(x_i, \theta) \rightarrow \max_{\theta \in \Omega} \quad (1)$$

$$\ln \left(\int_x f(x, \theta) dx \right) = \ln \frac{n}{N} \quad (2)$$

Отличие от метода максимального правдоподобия при полных выборках заключается в наличии ограничения (2).

2. Обозначим истинное значение оценки θ^0 . Исследуем асимптотические свойства оценок θ (1), (2) при $n \rightarrow \infty$.

Оценка наибольшего правдоподобия (ОНП) в строгом смысле называется состоятельной, если случайный вектор $\hat{\theta}^n$ сходится по вероятности к вектору θ^0 . ОНП называется асимптотически эффективной в строгом смысле, если при $n \rightarrow \infty$ предельное распределение случайного вектора $\sqrt{n}(\hat{\theta}^n - \theta^0)$ является нормальным с нулевым средним и корреляционной матрицей

$$K = D^{-1} = \left\| \int_x f \frac{\delta h^*(x, \theta^0)}{\delta \theta_j} \frac{\delta h^*(x, \theta^0)}{\delta \theta_r} \right\|_{i,r=1,\dots,s}^{-1},$$

где $h^* = \ln f - \ln p$; $p = \int_x f(x, \theta) dx$.

Если плотность $f(x, \theta)$ почти всюду дважды дифференцируема, то справедливы следующие тождества:

$$\int_x \frac{\delta f}{\delta \theta_j} dx - \frac{\delta p}{\delta \theta_j} = 0 \quad j = 1, \dots, s;$$

$\int_x \frac{\delta^2 f}{\delta \theta_j^2} dx - \frac{\delta^2 p}{\delta \theta_j^2} = 0 \quad j = 1, \dots, s.$ Предположим, что для всех $j = 1, \dots, s; \theta \in \Omega$ и почти для всех x выполняются условия:

1) Существуют производные:

$$a) \frac{\delta \ln f}{\delta \theta_j}, \quad б) \frac{\delta^2 \ln f}{\delta \theta_j^2} \quad в) \frac{\delta^3 \ln f}{\delta \theta_j^3}$$

2) По переменным x верны соотношения:

$$a) \frac{\delta \ln f}{\delta \theta_j} \neq const, \quad б) \int_x f \left(\frac{\delta \ln f}{\delta \theta_j} \right)^2 dx < \infty$$

3) Существуют такие положительные и дважды дифференцируемые функции $g_j(\theta)$ и такие функции $H_j(x)$, что

$$\left| \frac{\delta^2}{\delta \theta_j^2} \left[g_j(\theta) \left(\frac{\delta \ln f}{\delta \theta_j} - \frac{\delta \ln p}{\delta \theta_j} \right) \right] \right| < H_j(x),$$

$$\int_x H_j(x) f(x, \theta) dx < \infty .$$

4) Оценка $\hat{p} = \frac{n}{N}$ является состоятельной и асимптотически эффективной оценкой величины $p = \int_x f(x, \theta) dx$.

Теорема. Если выполняются условия 1-4, то оценка наибольшего правдоподобия $\hat{\theta}^n$, получаемая из (1), (2) по усеченным выборкам, является состоятельной и асимптотически эффективной оценкой величины θ .

Замечание. Если выполняется условие 1, то условие 3 можно заменить более легко проверяемым условием

$$\left| \frac{\delta^2}{\delta \theta_j^2} \left[g_j(\theta) \frac{\delta \ln f}{\delta \theta_j} \right] \right| < H_1(x),$$

$$\int_x H_1(x) f(x, \theta) dx < \infty .$$

3. Рассмотрим вычислительный аспект получения ОНП из (1), (2), который состоит в решении экстремальной задачи при наличии ограничений. Если функция правдоподобия дифференцируема, то решение последней удобней всего проводить на ЭВМ методами поисковой оптимизации. При

этом лучше всего использовать методы сопряженных направлений, простейшими из которых являются градиентные методы с памятью. Эти методы довольно просты в реализации и обладают самой высокой квадратичной скоростью сходимости.

Список литературы

1. А. Сархан, Б. Гринберг «Введение в теорию порядковых статистик». – М.: «Статистика», 1994.

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ НЕМАРКОВСКИХ ПОМЕХ И ОБЕЛЯЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Корабельникова Ю.В.¹, Горбунов А.К.²

¹студентка группы ЭКД.Б-61; ²профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹j.strify2012@yandex.ru; ²j.strify2012@yandex.ru

Прямым способом выводятся общие алгоритмы для отношения правдоподобия в задаче обнаружения немарковских сигналов на фоне немарковских помех при наличии шума с независимыми значениями. Получены алгоритмы для случая слабых сигналов. Выясняются свойства входных блоков обнаружителей.

1. Рассматривается вначале случай дискретного времени, когда наблюдаемый процесс равен

$$y_k = \theta S(x_k, t_k) + \eta_k + \xi_k, \quad \theta = 0, 1, \quad k = 0, 1, \dots, n.$$

Параметр $\{x_k\}$ полезного сигнала $S(x_k, t_k)$ (S – известная функция) и помеха $\{\eta_k\}$ являются произвольными немарковскими случайными последовательностями. Кроме коррелированной помехи $\{\eta_k\}$ на сигнал воздействует шум $\{\xi_k\}$ – случайный процесс с независимыми значениями, описываемый плотностью вероятностей ρ . Предполагается, что шум $\{\xi_k\}$ статистически не зависит от процессов $\{x_k\}$ и $\{\eta_k\}$. Между собой сигнал и помеха могут быть статистически зависимыми. Предполагается также, что

$$M\varphi_1(x_k, \eta_k) < \infty, \quad M\varphi_0(\eta_k) < \infty, \quad k = 0, 1, \dots, n,$$

$$\text{где } \varphi_\theta = \rho[y_k - \theta S(x_k, t_k) - \eta_k].$$

При этих условиях получаем для отношения правдоподобия $\Lambda_k = \frac{\rho(y_0^k / \theta = 1)}{\rho(y_0^k / \theta = 0)}$ рекуррентный алгоритм

$$\Lambda_k = \Lambda_{k-1} \frac{M_1 \rho[y_k - S(x_k, t_k) - \eta_k]}{M_0 \rho[y_k - \eta_k]}, \quad k = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$$\Lambda_0 = \frac{\rho(y_0 / \theta = 1)}{\rho(y_0 / \theta = 0)},$$

где M_1 и M_0 – условные математические ожидания:

$$M_{\theta}(\cdot) = \begin{cases} \iint(\cdot) p(x_k, \eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 1) dx_k d\eta_k \\ \int(\cdot) p(\eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 0) d\eta_k \end{cases}$$

2. Рассматривая случай слабых детерминированных сигналов ($S \rightarrow 0$), из (1) в асимптотике для $z_k = \ln \Lambda_k$ получим

$$z_k = z_{k-1} + S(t_k) f \left[y_k - \hat{\eta}_{0k} \left(y_0^{k-1} \right) \right], \quad (2)$$

где обозначено

$$f(x) = -\frac{d}{dx} \ln \rho(x), \quad \hat{\eta}_{0k} \left(y_0^{k-1} \right) = M(\eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 0)$$

Используя свойства условного математического ожидания, можно показать, что при $y_i = \eta_i + \xi_i$, $M \xi_i = 0$, $i = 0, 1, \dots$, справедливо соотношение $M \left[y_i - \hat{\eta}_{0i} \left(y_0^{i-1} \right) \right] \left[y_j - \hat{\eta}_{0j} \left(y_0^{j-1} \right) \right] = 0$ для всех $i \neq j$.

Таким образом, входное устройство обнаружителя слабых сигналов, вычисляющее разность $y_k - \hat{\eta}_{0k} \left(y_0^{k-1} \right)$, представляет собой декоррелирующий фильтр. После него следует безынерционный нелинейный преобразователь $f(x)$, а затем обычный корреляционный приемник.

3. При непрерывном времени на параметр $\{x_t\}$ сигнала $S(x_t, t)$ и помеху η_t никаких особых ограничений не накладывается (как и при дискретном времени). Они могут быть немарковскими и негауссовскими процессами причем статистически зависимыми между собой. Что же касается шума $\{\xi_t\}$, то здесь он предполагается белым гауссовским шумом (спектральная плотность равна N). Конкретизируя ρ в (1) и осуществляя затем предельный переход, получим алгоритм для логарифма отношения правдоподобия z_t , $0 \leq t \leq T$

$$z_T = \frac{1}{N} \int_0^T \left(\hat{S}_t + \hat{\eta}_{1t} - \hat{\eta}_{0t} \right) y_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T \left[\left(\hat{S}_t + \hat{\eta}_{1t} \right)^2 - \hat{\eta}_{0t}^2 \right] dt, \quad (3)$$

где

$$\hat{S}_t = M \left[S(x_t, t) / y_0^t, \theta = 1 \right], \quad \hat{\eta}_{it} = M(\eta_t / y_0^t, \theta = i), \quad i = 0, 1,$$

а стохастический интеграл понимается в смысле Ито.

4. В случае слабых детерминированных сигналов из (3) (или из (2) после конкретизации ρ) вытекает алгоритм

$$z_T = \frac{1}{N} \int_0^T S(t) (y_t - \hat{\eta}_{0t}) dt,$$

определяющий структуру асимптотически оптимального обнаружителя. При несущественных с точки зрения практики ограничениях на произвольную помеху $\{\eta_t\}$

$$\int_0^T M |\eta_t| dt < \infty$$

процесс $\tilde{\xi}_t = y_t - \tilde{\eta}_{0t}$ (при $y_t = \eta_t + \xi_t$) является белым гауссовским шумом. Таким образом, рассматриваемый обнаружитель представляет собой корреляционный приемник, на входе которого стоит обеляющий фильтр.

5. Процедура обеления помехи, наличие на входе устройства обнаружения обеляющего фильтра имеют место и без требования малости сигнала. Рассмотрим вначале случай обнаружения детерминированного сигнала $S(t)$ в гауссовской помехе (с произвольной корреляционной функцией) при наличии белого шума. В этом случае

$$\hat{\eta}_{1t}(y_0^t) = \hat{\eta}_{0t}(y_0^t - S_0^t) = \hat{\eta}_{0t}(y_0^t) - \hat{\eta}_{0t}(S_0^t) \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим алгоритм

$$z_T = \frac{1}{N} \int_0^T \tilde{S}_t \tilde{y}_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T \tilde{S}_t^2 dt, \quad (5)$$

$$\tilde{S}_t = S(t) - \hat{\eta}_{0t}(S_0^t), \quad \tilde{y}_t = y_t - \hat{\eta}_{0t}(y_0^t),$$

определяющий оптимальный обнаружитель детерминированного сигнала $\tilde{S}(t)$ в белом шуме.

6. Преобразуя (3) применительно к общей задаче, придем к формуле (5), при этом функционал \tilde{S}_t будет уже случайным

$$\tilde{S}_t(y_0^t) = \hat{S}_t(y_0^t) + \hat{\eta}_{1t}(y_0^t) - \hat{\eta}_{0t}(y_0^t), \quad \tilde{y}_t = y_t - \hat{\eta}_{0t}(y_0^t).$$

7. Необходимость использования декоррелирующих и обеляющих фильтров и сама структура обнаружителей непосредственно следуют из рассматриваемого метода, причем привлекать искусственные приемы здесь не потребовалось. В частности, не понадобилось искусственно вводить в схему обработки сигналов обеляющий фильтр.

Список литературы

1. Г. Галлпер. *Теория информации и надежная связь*. – М.: «Мир», 1990.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ПАМЯТИ, РАБОТАЮЩЕЙ С ОШИБКАМИ.

Упоров Е.И.¹, Синякова М.А.², Горбунов А.К.³

¹студент группы ИТД Б-21; ²Учащаяся 13 школы; ³Зав.кафедрой, Доктор физико-математических наук, профессор

e-mail: ¹egoruporov@rambler.ru; ²egoruporov@rambler.ru;
³egoruporov@rambler.ru

Доказывается существование памяти из ненадёжных элементов, содержащей конечное число элементов на 1 бит хранящейся информации, для которой вероятность ошибки при хранении стремится экспоненциально к нулю с ростом длины кодовых слов.

В работе рассматриваются устройства хранения двоичной информации (памяти) из ненадёжных элементов, блок-схема которых представлена на рис.1.

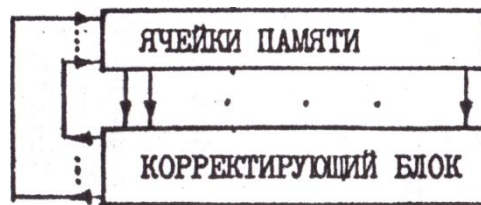


Рис.1

Изображённые на рис.1 ячейки памяти являются двоичными, т.е. в каждой из них может содержаться один из двух символов: 0 или 1. корректирующий блок строится из сумматоров по модулю 2 и пороговых элементов.

Память работает следующим образом: информацией, подлежащей хранению, являются кодовые слова некоторого блочного кода V длины N . В момент времени $t = 0$ одно из M кодовых слов кода V , возможно искажённое шумом, изменяющим независимо с вероятностью P_0 компоненты кодового слова, помещается в N ячеек памяти. В моменты времени $t = 0, 1, \dots, T$ корректирующий блок выполняет исправление ошибок, которые возникают из-за ненадёжной работы как ячеек памяти так и логических элементов самого корректирующего блока. Для простоты изложения здесь и ниже предполагается, что логические элементы, а следовательно и весь корректирующий блок в целом работают мгновенно.

Будем считать, что за время хранения T произошла ошибка в памяти, если хотябы в один из моментов времени $t = 0, 1, \dots, T$ кодовое слово вышло за пределы соответствующей ему области декодирования Y_i , $Y_i \cap Y_j = \emptyset$, $i \neq j$, $1 \leq i, j \leq M$. Вероятность ошибки за время T при хране-

нии i – го кодового слова кода V обозначим через $P_j(T)$, а общее число элементов в памяти через S . Положим $P(T) = \sum P(\bar{x}_j) P_i(T)$, где суммирование производится по всем кодовым словам, а $P(\bar{x}_i)$ – некоторое заданное распределение вероятностей на множестве кодовых слов.

Рассматривается задача построения памяти, в которой используется конечное число $\& = \frac{S}{\log M}$ элементов на один бит хранящийся информации и для которой $P(T) \rightarrow 0$ при $N \rightarrow 0$ и фиксированной относительной ёмкости памяти $R_0 = \log \frac{M}{N}$. Для произвольных чисел $0 < R < 1$ и целого $T > 0$ было доказано существование памяти, для которой $\& \leq \&_0, R_0 \geq R$ и $P_i(T) \leq (T + 1)A_1 N^{-a_1}, 1 \leq i \leq M$, где $\&_0 \geq 0, A_1 > 0$ и $a_1 > 0$ – некоторые постоянные, независимые от N . Для вероятностей $P_j(T), 1 \leq j \leq M$, была получена новая граница: $P_j(T) \leq (T + 1)\exp\{-N^{a_2} E_1\}$, где $0 \leq a_2 \leq 1$ и $E_1 > 0$ – некоторые постоянные, независимые от N .

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы для произвольных чисел $0 < R < 1$ и целого $T > 0$ доказать существование памяти, для которой $\& \leq \&_1, R_0 \geq R$ и $P_i(T) \leq (T + 1)\exp\{-NE\}, i = 1, \dots, M$, при некоторых постоянных $\&_1 > 0$ и $E > 0$, независимых от N . При решении этой задачи используется метод построения низкоплотностных кодов с заданными свойствами.

В данной работе существенным является допущение того, что все элементы памяти (ячейки памяти, логические элементы) могут совершать случайные ошибки. Под ошибками элементов понимается следующее: сумматор или пороговый элемент совершает ошибку при выполнении некоторой операции, если результат этой операции на выходе элемента является неверным. Ячейка памяти совершает ошибку в некотором интервале времени, если символ, содержащийся в ячейке памяти в начальный момент, изменяется в результате действия шума к концу интервала. В данной работе относительно ошибок элементов предполагается следующее:

1. Вероятности ошибок каждого порогового элемента и сумматора при отдельной операции и каждой ячейки памяти за единичный интервал времени не превышают чисел P_d, P_a, P_r , соответственно, при любых значениях входов логических элементов и любых содержащихся в ячейках памяти символах.
2. Ошибки в различных элементах и в различные интервалы времени независимы.

Основной результат работы можно сформулировать в виде следующей теоремы:

Теорема. Для произвольного числа $0 < R < 1$ и достаточно большого N можно указать независимую от N и расположенную около нуля область вероятностей P_0, P_d, P_a и P_r такую, что для любых входящих в неё вероятностей существует память, для которой $\epsilon \leq \epsilon_1, R_0 \geq R$ и $P_i(T) \leq (T + 1)\exp\{-NE\}, 1 \leq i \leq M$, где $\epsilon_1 > 0$ и $E > 0$ - некоторые постоянные, независимые от N .

Теорема может быть уточнена указанием явных выражений или соотношений для ϵ_1, E и области допустимых значений параметров P_0, P_d, P_a и P_r .

Список литературы

1. Р. Галлагер. Коды с малой плотностью проверок на чётность. М. «Мир» 1991г.

ОПТИМАЛЬНОЕ ДЕКВАНТОВАНИЕ НА ВЫХОДЕ КВАНТОВЫХ КАНАЛОВ В ГАУССОВСКОМ СЛУЧАЕ

Мальцев Н.Е.¹, Горбунов А.К.²

¹студент группы ИНК.Б-41; ²заведующий кафедрой, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹Nickolaymaltsev@gmail.com; ²Nickolaymaltsev@gmail.com

В специальном случае гауссовских распределений вероятностей и квадратичной функции штрафов доказываем оптимальность одного частного алгоритма оценки некоммутирующих величин, основанного на идеальном квазиизмерении.

При построении мажоритарных схем декодирования для кодов, имеющих системы квазиразделенных проверок, возникает, так называемая, проблема «ортогонализации».

Известные способы определения информационных символов в мажоритарном декодере не позволяют решить эту проблему в общем случае, даже для циклических кодов. Способ разделения в несколько шагов, основанный на построении необходимого количества мажоритарных проверок для каждого шага, не имеет общего алгоритма и во многих случаях неприменим.

Второй способ связан с решением систем линейных уравнений в поле $GF(q')$. В (1) предложен алгоритм разделения систем квазиразделенных проверок для мажоритарных $M(n,k)$ – кодов, построенных с помощью конечных геометрий.

Выходная последовательность решающего мажоритарного элемента при декодировании системы квазиразделенных проверок имеет вид

$$c(x) \equiv a(x)R(x) \pmod{x^n - 1} \quad (1)$$

В этом соотношении $a(x)$ – входная последовательность, $R(x)$ – полином, который описывает линейное преобразование, осуществляемое декодирующей схемой.

Решение этого сравнения относительно $a(x)$ позволяет выделить информационные символы для любого циклического кода, имеющего систему квазиразделенных проверок.

Таким образом, сложность и алгоритм решения сравнения (1) зависят от конкретного кода и системы проверок.

Задача отыскания оптимального деквантования сводится к минимизации квантового риска

$$R = Tr \int r(u) \Pi du \quad (2)$$

по операторной мере $\Pi(du)$, удовлетворяющей условию нормировки

$$\int \Pi(du) = 1. \quad (3)$$

В выражении (2):

$$r(u) = \int c(x, u) \rho(x) \mathcal{P}(dx),$$

где $c(x, u)$ - функция штрафов; $\rho(x)$ - матрица плотности; $\mathcal{P}(dx)$ - распределение вероятностей некантовых информационных параметров на входе канала связи.

При этом в случае гауссовских $\rho(x)$, $\mathcal{P}(dx)$, и квадратичной $c(x, u)$ удастся показать, что оператор $\Pi(du)$, доставляющий экстремум выражению (2), имеет следующий вид:

$$\Pi(du) = \varphi_u \varphi_u^x du, \quad (4)$$

где

$$\varphi_u = \pi^{-s/2} \det A^{-1} \exp\{-0,5u^x (A^x)^{-1} A^{-1}u + a^x A^{-1}u\} \Psi_0. \quad (5)$$

Здесь $a^x = (a_1^x, \dots, a_s^x)$ - операторы рождения кванта;

$u^x = (u_1^x, \dots, u_s^x)$ - комплексные числа; Ψ_0 - вакуумная волновая функция; A - числовая матрица, которую целесообразно выбрать по формуле (10).

С учетом (4) исходная экстремальная задача запишется следующим образом:

$$\int \varphi_u^x r(u) \varphi_u du = \min_{\varphi_u}. \quad (6)$$

Для доказательства того, что функции (5) доставляют выражению (6) минимум, докажем справедливость следующего неравенства:

$$\int \varphi_u^x r(u) \varphi_u du \leq \int \varphi_u^x r(u) \varphi_u du, \quad (7)$$

Где функции φ_u произвольны.

Рассчитаем прежде всего риск $r(u)$ в квадратично-гауссовском случае:

$$r(u) = \int (x-u)^x (x-u) \frac{1}{\det 2L} N \exp\left\{-\frac{1}{2}(a-x)^x L^{-1}(a-x)\right\} \frac{1}{\det 2\pi K} \exp\left\{-\frac{1}{2}x^k K^{-1}x\right\} dx, \quad (8)$$

где символ N обозначает нормальное упорядочение операторов; K - корреляционная матрица переменных x ; L - положительно определенная числовая матрица.

Производя в (8) интегрирование, получим:

$$r(u) = 2\rho \text{Tr} B + (u - Aa)^x \rho(u - Aa), \quad (9)$$

где

$$\rho = \int \rho(x) \mathcal{P}(dx) = \frac{1}{\det 2(K+L)} N \exp\left\{-\frac{1}{2}a^x (K+L)^{-1}a\right\};$$

$$B = (K^{-1} + L^{-1})^{-1}; \quad (10)$$

$$A = K(K + L)^{-1}.$$

Подставляя полученное выражение (9) в исходное неравенство (7),
имеем:

$$\int \varphi_u^x [2\rho \text{Tr} B + (u - Aa)^x \rho(u - Aa)] \varphi_u du \leq \int \varphi_u^x [2\rho \text{Tr} B + (u - Aa)^x \rho(u - Aa)] \varphi_u du$$

Учитывая теперь, что имеет место $a\varphi_u = A^{-1}u\varphi_u$, а также используя условие нормировки (3), получим неравенство $\int \varphi_u^x (u - Aa)^x \rho(u - Aa) \varphi_u du \geq 0$, найденное А.Г. Ванцяном.

Это неравенство очевидно вследствие положительной определенности оператора ρ . Отсюда следует справедливость исходного неравенства (7). Таким образом показано, что никакая другая функция не может сделать выражения (6) меньше, чем функция (5).

Список литературы

1. К.Хельстром, Дж.Лиу, Дж.Гордон. «Квантовомеханическая теория связи». М. «Мир» 1991.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАНТОВЫХ СИГНАЛОВ

Мальцев Н.Е.¹, Горбунов А.К.²

¹Студент группы ИНК.Б-41; ²заведующий кафедрой, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹Nickolaymaltsev@gmail.com; ²Nickolaymaltsev@gmail.com

В последние годы определенный интерес привлекли проблемы квантовой теории связи. В настоящем докладе мы решаем некоторые задачи оценивания квантовых сигналов, опираясь на общий подход к оптимальным квантовым измерениям.

На основе общих условий оптимальности квантового измерения, было найдено оптимальное байесовское измерение параметров гауссовского состояния.

Классический сигнал $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_N)$ на фоне квантового шума описывается семейством операторов плотности (о.п.) $\{p_\theta\}$, $\theta \in \Theta$ в некотором гильбертовом пространстве \mathcal{H} . Задается априорное распределение $\pi(d\theta)$ и функция потерь $W_\theta(x)$; $x, \theta \in \Theta$. Если $M(dx) - \Theta$ - измерение, то ему отвечает байесовский риск

$$R_\pi(M) = \int K(x)M(dx), \quad (1)$$

где $K(x) = \int w_\theta(x)p_\theta \pi(d\theta)$.

Предложение 1. Если $\Lambda = \int K(x)M(dx)$ эрмитов и $K(x) \geq \Lambda, x \in \Theta$, то M - оптимальное байесовское измерение. Если M - оптимально и существуют производные $\frac{\partial K}{\partial x_i}$, то

$$\sqrt{M(dx)} \frac{\partial K}{\partial x_i} \sqrt{M(dx)} \equiv 0.$$

Пусть \mathcal{H} - пространство неприводимого представления, p, q - соотношения коммутации $qp - pq = i$, и p_0 - о.п. в \mathcal{H} . Положим $V(x, y) = \exp i(px + qy)$ и $p_{x,y} = V(-y, x)p_0 V(-y, x)^*$. (Если p_0 - о.п. фоковского состояния, то $p_{x,y} = P(x, y)$ - о.п. когерентных состояний).

Предложение 2. Соотношение

$$M(d_x d_y) = \frac{1}{2\pi} p_{x,y} dx dy \quad (2)$$

Определяет R^2 - измерение. Пусть H_0 - пространство другого неприводимого представления p_0, q_0, p_0 - о.п. на H_0 , однозначно определяемый соотношением $\tau_r p_0 V_0(x, y) = \tau_r p_0 V(-x, y)$, а $E(dx dy)$ - совместное спектральное разложение операторов

$$\begin{aligned} p &= p \otimes I + I \otimes p_0, \\ q &= q \otimes I - I \otimes I q_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда $(H_0, p_0, E(\cdot))$ является реализацией измерения (2).

Пусть $\{p_{\alpha, \beta}\}, (\alpha, \beta) \in R^2$ - семейство гауссовских о.п.

$$Tr p_{\alpha, \beta} V(x, y) = \exp[i(\alpha x + \beta y) - \frac{\sigma^2}{2}(x^2 + y^2)]$$

Пусть априорное распределение на R^2 имеет вид:

$$\pi(d\alpha d\beta) = (2\pi s^2)^{-1} \exp[-\frac{1}{2s^2}(\alpha^2 + \beta^2)] d\alpha d\beta$$

Рассмотрим задачу байесовского оценивания параметров (α, β) при функции потерь $W_{\alpha, \beta}(x, y) = (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2$. Байесовский риск дается формулой (1), где $K(x, y) = (x^2 + y^2) p - 2 \frac{s^2}{s^2 + \sigma^2} (x p_0 p + y q_0 p) + K_0$,

Причем $Tr p V(x, y) = \exp[-\frac{s^2 + \sigma^2}{2}(x^2 + y^2)]$.

Предложение 3. Оптимальное байесовское измерение параметров (α, β) дается формулой

$$M(dx dy) = \frac{1}{2\pi c^2} P\left(\frac{x}{c}, \frac{y}{c}\right) dx dy, \quad (4)$$

где $c = \frac{2s^2}{2s^2 + 2\sigma^2 + 1}$.

Минимальный байесовский риск равен $((2s^2)^{-1} + (2s^2 + 2\sigma^2 + 1)^{-1})^{-1}$.

Из предложения 2 следует, что оптимальными байесовскими оценками для α, β являются

$$c p, c q \quad (5),$$

где p_0, q_0 описывают независимую систему в фоковском состоянии.

Измерение $M(dx dy)$ назовем несмещенным, если для всех (α, β)

$$\begin{aligned} \text{Trp}_{\alpha,\beta}(SxM(dx dy)) &= \alpha, \\ \text{Trp}_{\alpha,\beta}(SyM(dx dy)) &= \beta \end{aligned} \quad (6)$$

Введем среднеквадратичную потерю:

$$R_{\alpha,\beta}(M) = \text{Trp}_{\alpha,\beta} \left[\int ((x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2) M(dx dy) \right].$$

Предложение 4. Для любых (α, β) .:

$$\min_M R_{\alpha,\beta}(M) = 2\sigma^2 + 1,$$

причем минимум достигается на измерении (4) при $c=1$, т.е. наилучшими несмещенными оценками для (α, β) являются (3), где p_0, q_0 описывают независимую систему в фоковском состоянии.

Список литературы

1. Дж. Клаудер, Э. Сударман. Основы квантовой оптики, М., «Мир», 1990.

ОБ ОЦЕНКАХ ФАЗЫ СИГНАЛА В ГАУССОВСКОМ БЕЛОМ ШУМЕ

Мальцев Н.Е.¹, Горбунов А.К.²

¹студент группы ИНК.Б-41; ²заведующий кафедрой, профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: ¹Nickolaymaltsev@gmail.com; ²Nickolaymaltsev@gmail.com

Аддитивный белый гауссовский шум есть вид мешающего воздействия в канале передачи информации. Он характеризуется равномерной спектральной плотностью, нормально распределённым значением амплитуды и аддитивным способом воздействия на сигнал. Термин «аддитивный» означает, что данный вид шума суммируется с полезным сигналом.

Рассмотрим условия для фазоимпульсной модуляции, при которых рекуррентные оценки параметра сигнала, передаваемого по каналу с гауссовским белым шумом, оказываются состоятельными и асимптотически эффективными.

Пусть $S(t)$ - известная дважды непрерывно-дифференцируемая периодическая с периодом ω функция, так что

$$S(t) = \sum_{k=0}^{\infty} [a_k \sin(\frac{2\pi}{\omega} kt) + b_k \cos(\frac{2\pi}{\omega} kt)].$$

Предположим, что по аддитивному каналу с гауссовским белым шумом передается сигнал $S(t+x_0)$, где x_0 - неизвестный параметр, причем $x_0 \in X = (0, \omega)$. Требуется по наблюдениям $Y(u)$, $0 \leq u \leq t$, имеющим стохастический дифференциал (в смысле Ито)

$$dY(u) = S(u+x_0) du + \sigma d\xi(u) \quad (1)$$

Построить состоятельную и асимптотически эффективную оценку $X(t)$ для x_0 .

Как хорошо известно, дисперсия любой несмещенной оценки параметра x_0 , построенной по наблюдениям (1) на отрезке времени $[0, t]$, ограничена снизу величиной

$$B(t, x_0) = \sigma^2 \left[\int_0^t [S'(u+x_0)]^2 du \right]^{-1}.$$

В соответствии с этим оценка $X(t)$ параметра x_0 называется асимптотически эффективной, если распределение случайной величины

$$\sqrt{B(t, x_0)} (X(t) - x_0)$$

Сходится при $t \rightarrow \infty$ к нормальному закону с параметрами $(0, 1)$, т.е.

$$\sqrt{B(t, x_0)} (X(t) - x_0) \square N(0, 1).$$

Пусть $X(t)$ - произвольный случайный процесс. Будем обозначать через $\square X(t)$ процесс, полученный из $X(t)$ следующим преобразованием

$$\square X(t) = \begin{cases} X(t) - (i-1)\omega, & \text{если } (i-1)\omega < X(t) < i\omega \text{ для} \\ & \text{некоторого } i=0, \pm 1, \pm 2, \dots \\ 0, & \text{если } X(t)=i\omega \end{cases}$$

Приводимая ниже теорема показывает, что если сигнал $S(t)$ содержит первые гармонические составляющие, то по наблюдениям (1) всегда можно построить простую рекуррентную оценку параметра x_0 , которая будет состоятельной.

Теорема 1. Пусть $c_1^2 = a_1^2 + b_1^2 \neq 0$, а процесс $X(t)$ описывается уравнением

$$dX(t) = \frac{K\alpha(t+X(t))[dY(t) - S(t+X(t))dt]}{1+t}, \quad (2)$$

$$X(0)=x,$$

где $K>0$, $\alpha(t)=a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{\omega}t\right) - b_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\omega}t\right)$.

Тогда для любого $x_0 \in X$ и любой начальной точки x выполнено соотношение

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \square X(t) = x_0$$

Нетрудно видеть, что если $2K\pi c_1^2 > \omega$, то построенная выше оценка удовлетворяет соотношению

$$\sqrt{B(t, x_0)} (\square X(t) - x_0) \square N(0, \alpha),$$

Где, вообще говоря, $\alpha = \alpha(K) > 1$ каково бы ни было K . Поэтому эта оценка, вообще говоря, не является асимптотически эффективной.

Из следующего утверждения вытекает, что если энергия колебаний на самой низкой частоте у передаваемого сигнала $S(t)$ превосходит суммарную энергию колебаний на всех остальных частотах сигнала $S'(t)$, то параметр x_0 может быть оценён не только состоятельно, но и асимптотически эффективно с помощью рекуррентных оценок.

Теорема 2. Пусть

$$c_1^2 > \sum_{i=2}^{\infty} i^2 c_i^2, \text{ где } c_i^2 = a_i^2 + b_i^2,$$

а процесс $X(t)$ описывается уравнением

$$dX(t) = \frac{S'(t+X(t))[dY(t) - S(t+X(t))dt]}{a(1+t)},$$

$$X(0)=x,$$

где

$$a = \frac{2\pi^2}{\omega^2} \sum_{i=2}^{\infty} i^2 c_i^2.$$

Тогда для любого $x_0 \in X$ и любой начальной точки x выполнены соотношения

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \square X(t) = x_0$$

$$\sqrt{B(t, x_0)} \left(\square X(t) - x_0 \right) \square N(0,1).$$

Список литературы

1. Г. Крамер. Математические методы статистики. М. «ИЛ» 1998.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА СИГНАЛА В ГАУССОВСКОМ БЕЛОМ ШУМЕ.

Прокофьев Михаил Львович¹, Горбунов Александр Константинович²

¹студент группы САПР.Б-21; ²Заведующий кафедрой физики, Доктор физико-математических наук, Профессор

e-mail: ¹shinoda25px@yandex.ru; ²kf_mgtu_fiz@mail.ru

Дано количественное уточнение известных качественных условий В.А.Котельникова для отсутствия аномалии.

Многие асимптотические задачи оценивание одномерного параметра в белом шуме можно свести к изучению следующей схемы: на отрезке: $[0, I]$ наблюдается процесс $X_\varepsilon(t)$, определяемый стохастическим дифференциальным уравнением

$$dX_\varepsilon(t) = S_\varepsilon(t, \theta)dt + d\xi(t)$$

Где ξ – стандартный винеровский процесс, S_ε – зависящее от малого параметра ε и неизвестного параметра θ семейство функций. Если семейство S_ε достаточно гладко по θ , то необходимым условием существования состоятельной оценки параметра θ является условие

$$\varphi(\theta, \varepsilon) = \left\| \frac{\delta S_\varepsilon}{\delta \theta}(\theta) \right\| \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0$$

(1)

(Символом $\|\cdot\|$ обозначается норма в $L^2(I)$)

Однако, как заметил Котельников в 1946г., это условие не является достаточным. Связанное с отсутствием для семейства S_ε состоятельных оценок явление названо им явлением аномалии. Следующие условия гарантируют существование состоятельных и асимптотических эффективных оценок (отсутствие аномалии) в случае, когда I – открытое множество числовой прямой.

Условие А.

1) Функция $S_\varepsilon(\cdot, \theta) \in I$ при $\varepsilon \rightarrow 0$, $\theta \in I$, функция S_ε абсолютно непрерывна для $\varepsilon > 0$ и почти всех $t \in I$, причем $\delta S_\varepsilon(t, \theta)/\delta \theta \in I$.

2) Для всех $\theta \in I$ функция удовлетворяет условию (1), а для некоторой постоянной c_0 при $\varepsilon < c_0$ справедливо неравенство

$$\varphi(\theta_1, \varepsilon) < c_0 \varphi(\theta_0, \varepsilon)$$

Условие Б. Существует положительное число δ такое, что:

1) $\left| \theta - \theta_0 \right|^{\sup} < \varphi(\theta_0, \varepsilon)^{-\delta} \left\| \frac{\delta^2 S_\varepsilon}{\delta^2 \theta} \right\| = 0 - (\varphi(\theta_0, \varepsilon) \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0)$,

2) для некоторого $\theta_0 \in I$ при $\varepsilon < c_0$ выполнено, кроме того, условие

$$\theta_i \in \Theta, \inf_{\theta \in \Theta} |\theta - \theta_0| < \varphi(\theta_0, \varepsilon)^{-\delta} \|S_\varepsilon(\theta_2) - S_\varepsilon(\theta_1)\| > (\varphi(\theta_0, \varepsilon))^\mu$$

Условия А, Б1 обеспечивают локальную асимптотическую нормальность семейства распределений в смысле Ле Кама. Условие же Б2 означает, что не слишком близкие значения параметра должны достаточно сильно различаться при малых ε .

Теорема 1. Если множество Θ ограничено и выполнены условия А,Б, то при оценке максимального правдоподобия (ОМП) параметра θ асимптотически нормальна, состоятельна равномерно в любом замкнутом множестве из Θ и асимптотически эффективна; при этом моменты любого порядка случайной величины $(\hat{\theta}_\varepsilon - \theta)$ сходятся к соответствующим моментам гауссовской случайной величины с параметрами 0,1. Если же множество Θ неограниченно, а при $\varepsilon \rightarrow 0$ растет не быстрее некоторой степени $\varepsilon^{-\delta}$, то аналогичными свойствами обладает усеченная на интервале $[\alpha, \beta]$ ОМП.

Эти свойства доказаны и для оценок, байесовских по отношению к широкому классу функций потерь и априорных плотностей. Общие результаты применяются к таким распространенным методам модуляции, как фазоимпульсная, частотноимпульсная и времяимпульсная. Необходимость рассмотрения усеченных процедур оценивания в случае неограниченного параметрического множества ясна, в частности, для примера частотноимпульсной модуляции, когда наблюдается процесс (ζ) , определяемый уравнением

$$(2) \quad \zeta = \int_0^T A \sin \theta \zeta d\zeta + \sigma d\theta \zeta(1), \quad 0 \leq 1 \leq T, \quad \Theta = (\alpha, \infty),$$

В этом случае неусеченная ОМП не существует, т.к. функция правдоподобия неограничена.

Теорема 2. Пусть $\hat{\theta}_\varepsilon$ – усеченная на отрезке (α, β) ОМП, построенная по процессу наблюдений (2). Эта оценка состоятельна при $\varepsilon \rightarrow 0$ равномерно в области $\alpha + \delta < \theta < \beta - \delta$, если $L_T^2 \exp\left[\int_0^T \zeta^2 d\zeta\right] < \infty$. Если же $L_T^2 \exp\left[\int_0^T \zeta^2 d\zeta\right] > \infty$ при некотором ε , то не существует оценки параметра θ , равномерно состоятельной на интервале $(\alpha + \delta, \beta - \delta)$.

Доказательство второй части этой теоремы основано на идеях теории информации.

Задача построения оптимального алгоритма случайного множественного доступа (СМД) к каналу связи для системы с 2-конфликтом (конфликт возникает, если одновременно передают не менее двух станций) может быть, как известно, сведена к задаче скорейшего разделения множества X , порожденного цуассоновским потоком с параметрами $\lambda = 1$ на полупрямой $[0, \infty)$.

Под разделением понимается разбиение X на интервалы, внутри каждого из которых содержится ровно одна точка из X , а «инструментом»

разделения являются проверки любого измеряемого подмножества Γ , по одному подмножеству в единицу времени. Результат проверки лишь частично становится известен, точнее становится известна лишь значение функции $\mu(\Gamma)$, принимающей значения 0, если в Γ нет точек из X («пустое окно» в терминологии СМД, $\mu(\Gamma) = 1$, если в Γ ровно одна точка из X {«успешная передача»} и $\mu(\Gamma) = 2$, если в Γ имеется не менее двух точек из X («конфликт»)).

Максимально известная скорость разделения достигается сегодня на марковских алгоритмах разделения. К анализу работы таких алгоритмов может быть привлечен аппарат теории управляемых цепей Маркова. В этой цепи было использовано уравнение Ховарда для нахождения оптимального алгоритма. Там выписаны соответствующие уравнения для нахождения оптимального алгоритма дробления и оптимального алгоритма дробления с «добавлением».

Список литературы

1. *Р. Ш. Липцер, А. Н. Ширяев.* Статистика случайных процессов М. «Наука» 1991

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сорокин А.В.¹, Крицкая А.Р.², Силаева Н.А.³

¹студент группы ПТМ.И-41; ²доцент, кандидат педагогических наук;
³старший преподаватель

e-mail: ¹sorocin@mail.ru; ²anna_kritskaya69@list.ru; ³silaeva68@list.ru

Между тепловыми и электрическими процессами в металлах и полупроводниках имеется взаимосвязь, которая обуславливает явления, называемые термоэлектрическими. К их числу принадлежат явление Зеебека, явление Пельтье и явление Томсона.

Явление Зеебека. В случае, если спаи 1 и 2 двух разнородных металлов, образующих замкнутую цепь (рис.1), имеют неодинаковую температуру, в цепи течет электрический ток. Изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления тока.

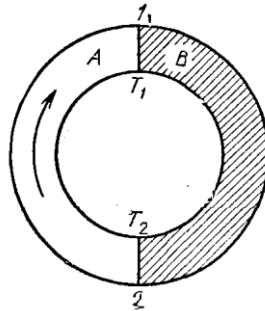


Рис.1

Рассмотрим два разнородных металла, 1 и 2, отличающиеся работами выхода A_1 и A_2 и химическими потенциалами. Пусть $A_1 < A_2$. Во втором металле электронами заполнены более высокие энергетические уровни, чем в первом. Если привести металлы в соприкосновение, то электроны проводимости частично переходят из второго металла в первый. При этом выравниваются их электрохимические потенциалы: металл 1 заряжается отрицательно, а металл 2 – положительно. Одновременно происходит относительное смещение энергетических уровней электронов в контактирующих металлах. В металле, заряжающемся отрицательно, все уровни смещаются вверх, а в металле, заряжающемся положительно, – вниз. В состоянии равновесия электрохимические потенциалы выравниваются:

$$-e\varphi_1 + \mu_1 = -e\varphi_2 + \mu_2 \quad (1)$$

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ контактирующих металлов называется внутренней контактной разностью потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\mu_1 - \mu_2)/e \quad (2)$$

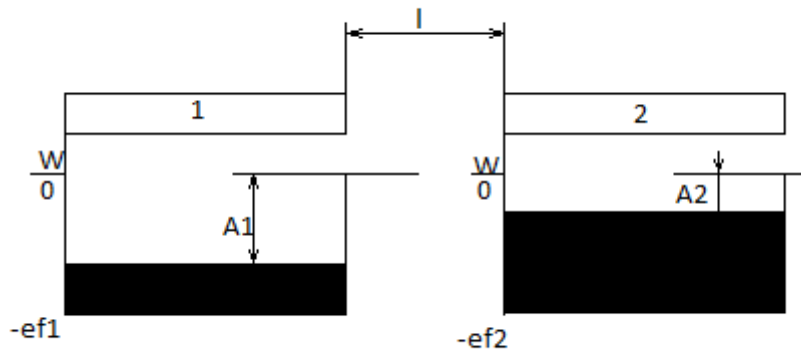


Рис. 2

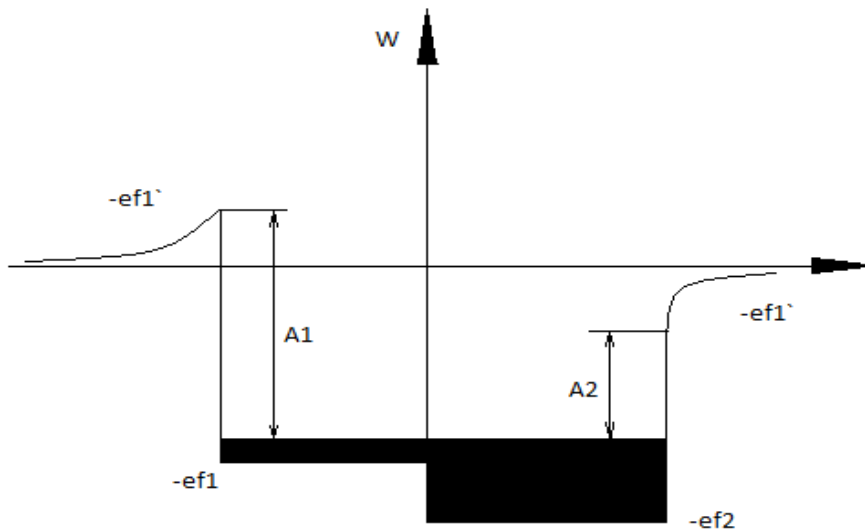


Рис.3

Это относится к температуре $T=0$ К. как известно, для электронного газа в металлах химический потенциал зависит от температуры $\mu = \mu(T)$. Это значит, что и $\varphi_1 - \varphi_2$ зависит от температуры.

$$\mu(T) = \mu(0) \left[1 - \frac{1}{12} \left(\frac{\pi kT}{\mu(0)} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Рассматриваемая разность потенциалов, или термо ЭДС обусловлена тремя причинами: 1) зависимостью уровня Ферми от температуры, 2) диффузией электронов (или дырок) и 3) увлечением электронов фононами.

Уровень Ферми зависит от температуры (см. формулу 3). Поэтому скачок потенциала при переходе из одного металла в другой (т. е. внутрен-

ная контактная разность потенциалов для спаев , находящихся при разных температурах , неодинаков и сумма скачков потенциала отлично от нуля.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{конт}} &= U_{AB}(T_1) + U_{BA}(T_2) = \frac{1}{e} \{ [E_{FA}(T_1) - E_{FB}(T_1)] + [E_{FB}(T_2) - E_{FA}(T_2)] \} \\ &= \frac{1}{e} \{ [E_{FB}(T_2) - E_{FB}(T_1)] + [E_{FA}(T_2) - E_{FA}(T_1)] \}. \\ \varepsilon_{\text{конт}} &= \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{1}{e} \frac{dE_{FB}}{dT} \right) dT - \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{1}{e} \frac{dE_{FA}}{dT} \right) dT.\end{aligned}\quad (4)$$

Рассмотрим однородный металлический проводник ,вдоль которого имеется градиент температуры. В этом случае концентрация электронов с $E > E_F$ у нагретого конца будет больше ,чем у холодного ; концентрация электронов с $E < E_F$ будет ,наоборот , у нагретого конца меньше. Вдоль проводника возникнет градиент концентрации электронов с данным значением энергии, что повлечёт за собой диффузию более быстрых электронов к холодному концу, а более медленных – к теплomu. Диффузионный поток быстрых электронов будет больше , чем поток медленных электронов .Поэтому вблизи холодного конца образуется избыток электронов ,а вблизи горячего – их недостаток .Это приводит к возникновению диффузионного слагаемого термо-э.д.с.

Третья причина возникновения термо-э.д.с заключается в увлечении электронов фононами .Фонон- квазичастица ,сопоставляемая волне смещений атомов (ионов) и молекул кристалла из положений равновесия .Энергия фонона $\varepsilon = \hbar\omega(k)$, квазиимпульс $p = \hbar k$,где ω - частота колебаний атомов , k - квазиволновой вектор. Число тепловых Φ . тем больше ,чем выше температура T . Среднее число \bar{n} Φ . данного типа с энергией ε определяется формулой Планка :

$$\bar{n}(\varepsilon) = 1/(e^{\frac{\varepsilon}{kT}} - 1).$$

При наличии градиента температуры вдоль проводника возникает дрейф фононов. Сталкиваясь с электронами ,фононы сообщают им направленное движение от более нагретого конца проводника к менее нагретому .В результате происходит накапливание электронов на холодном конце и обеднение электронами горячего конца ,что приводит к возникновению “фононного” слагаемого термо-э.д.с.

Оба процесса – диффузия электронов и увлечение электронов фононами – приводят к образованию избытка электронов вблизи холодного конца проводника и недостатка их вблизи горячего конца .В результате внутри проводника возникает электрическое поле ,направленное навстречу градиенту температуры .Напряжённость этого поля можно представить в виде

$$E^* = -\frac{d\varphi}{dl} = -\frac{d\varphi}{dT} \frac{dT}{d\varphi} = -\beta \frac{dT}{dl},\quad (5)$$

где

$$\beta = \frac{d\varphi}{dT} \quad (6)$$

Соотношение (5) связывает напряженность E^* с градиентом температуры $\frac{dT}{dl}$. Возникающее поле и градиент температуры имеют противоположные токи через эмиттер и коллектор.

Определяемое поле является полем сторонних сил. Проинтегрировав напряженность этого поля по участку цепи А от спая 2 до спая 1, получим термо-э.д.с., действующую в направлении, указанном стрелкой на рис. 1:

$$\varepsilon_{2A1} = - \int_2^1 \beta_A \frac{dT}{dl} dl = \int_{T_1}^{T_2} \beta_A dT. \quad (7)$$

Аналогично термо-э.д.с., действующая на участке В от спая 1 до спая 2, равна

$$\varepsilon_{1B2} = - \int_2^1 \beta_B \frac{dT}{dl} dl = - \int_{T_1}^{T_2} \beta_B dT. \quad (8)$$

Термоэлектродвижущая сила $\varepsilon_{\text{термо}}$ складывается из э.д.с., возникающих в контактах, и э.д.с. действующих на участках А и В:

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \varepsilon_{\text{конт}} + \varepsilon_{2A1} + \varepsilon_{1B2}.$$

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{1}{e} \frac{dE_{FB}}{dT} \right) dT - \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{1}{e} \frac{dE_{FA}}{dT} \right) dT + \int_{T_1}^{T_2} \beta_A dT - \int_{T_1}^{T_2} \beta_B dT \quad (9)$$

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \int_{T_1}^{T_2} \left(\beta_A - \frac{1}{e} \frac{dE_{FA}}{dT} \right) dT - \int_{T_1}^{T_2} \left(\beta_B - \frac{1}{e} \frac{dE_{FB}}{dT} \right) dT \quad (10)$$

Заменив $\beta - \frac{1}{e} \frac{dE_F}{dT} = \alpha$, получим

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_A dT - \int_{T_1}^{T_2} \alpha_B dT \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{AB} dT \quad (12)$$

В отдельных случаях удельная термо-э.д.с. слабо зависит от температуры. Тогда формулу (12) можно приближённо представить в виде

$$\varepsilon_{\text{термо}} = \alpha_{AB} (T_2 - T_1). \quad (13)$$

Однако, как правило, с увеличением разности температур спаев $\varepsilon_{\text{термо}}$ изменяется не по линейному закону, а довольно сложным образом, вплоть до того, что может менять знак. Так, например, если один спай пары железо – медь поддерживать при 0°C , то при температуре второго спая, равной примерно 540°C , термо-э.д.с. обращается в нуль; при более низкой температуре $\varepsilon_{\text{термо}}$ имеет один знак, при более высокой – другой.

Коэффициент α_{AB} называют коэффициентом Зеебека (удельной термо-э.д.с.), он зависит от материала проводников и интервала температур (смотри таблицу 1.). Термо-э.д.с. чувствительна к микроскопическим количествам примесей, к ориентации кристаллических зерен. Термо-э.д.с.

может возникнуть в цепи ,состоящей и из одного материала , если его разные участки подвергались различным технологическим операциям.

Таблица 1

Значения α_{AB} для некоторых металлов и сплавов по отношению к Pb

Материал	α , мкВ/К	Материал	α , мкВ/К
Железо	+1,5	Платина	-4,4
Медь	+3,2	Алюмель	-17,3
Платинородий	+2	Константан	-38
Хромель	+24	Копель	-38
Свинец	0,0		

Термо-э.д.с. металлов очень мала, сравнительно больше термо-э.д.с. в полуметаллах и их сплавах, а также в некоторых переходных металлах и их сплавах Pd с Ag термо- э.д.с. достигает 86 (мкВ/К).Термопара “сплав платина-10% родий-чистая платина ” самая стабильная и применяемая в термическом анализе минералов. Термо-э.д.с.в них велика из-за того ,что средняя энергия электронов в потоке сильно отличается от энергии Ферми. Иногда быстрые электроны обладают меньшей диффузионной способностью , чем медленные , и термо-э.д.с. меняет знак. Величина и знак термо-э.д.с. зависит также от формы ферми-поверхности, различные участки которой могут давать в термо-э.д.с. вклады противоположного знака. Знак термо-э.д.с. металлов иногда меняется на противоположный при низких температурах. В дырочных ПП на холодном контакте скапливаются дырки ,а на горячем остается некомпенсированный отрицательный заряд (если аномальный механизм рассеяния или эффект увлечения не приводят к перемене знака термо-э.д.с. Основными требованиями к материалам для термоэлектрических батарей являются: коэффициент термо-э.д.с. Зеебека (α_{AB}), высокая электропроводность (σ), и низкая теплопроводность (K) , что определяет эффективность или добротность термоэлектрического материала (Z).

$$Z = \alpha_{AB}^2 \frac{\sigma}{K}$$

Это уравнение может быть приведено к безразмерной форме , умножением его на значение абсолютной температуры T (температуры горячего спая термопары).

$$ZT = \alpha_{AB}^2 \frac{\sigma T}{K},$$

где ZT -термоэлектрический показатель качества материала, $\alpha_{AB}^2 \sigma$ -коэффициент мощности материала.

На сегодняшний момент развитие полупроводниковых термоэлектрических материалов решает задачу повышения термоэлектрической добротности . Достигнуты показатели ZT на уровне 1,0-1,5 (для промышленных материалов), возможно получение ZT на уровне 2,0. Дальнейшее повыше-

ние ZT возможно только на качественно другом уровне создания термоэлектрических сплавов (ямы квантования, нано технологии). Лучшие термоэлектрические элементы достигают КПД - 8-12%, что не позволяет им конкурировать в большой энергетике с тепловыми машинами.

Явление Зеебека используется для измерения температур. Соответствующее устройство называется термопарой. Один спай термопары поддерживают при постоянной температуре (например, при 0°C), другой помещают в ту среду, температуру которой хотят измерить. О величине температуры можно судить по силе возникающего термотока, измеряемой гальванометром. Более точный результат получается, если измерять возникающую термо-э.д.с. по методу компенсации. Предварительно термопару градуируют. С помощью термопар можно измерять с точностью порядка сотых долей градуса как низкие, так и высокие температуры.

В качестве источников тока термопары из металлов и их сплавов не используются вследствие весьма низкого к.п.д. (не более 0,5 %). Термопары из полупроводниковых материалов обладают гораздо большим к.п.д. (порядка 10%). Они нашли применение в качестве небольших генераторов для питания радиоаппаратуры. Также, термопары используют в составе термоэлектрических измерительных приборов. Термоэлектрический измерительный прибор, представляет собой сочетание термоэлектрического преобразователя с электроизмерительным механизмом постоянного тока. Применяется для измерения силы и напряжения (реже мощности) электрического тока, особенно при несинусоидальных токах и на повышенных частотах.

Обычно термоэлектрический измерительный прибор состоит из нагревателя-обмотки с большим удельным электрическим сопротивлением, по которой протекает измерительный ток, термопары, воспринимающей температуру нагревателя, и магнитоэлектрического измерительного механизма, через рамку которого протекает ток, определяемый ЭДС термопары. Различают контактные термоэлектрические преобразователи (с гальванической связью термопары и нагревателя) и бесконтактные (нагреватель и термопара электрически изолированы).

Термопары широко применяют для измерения температуры различных объектов, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение из-за надежной конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны. Широкому применению термопары обязаны в первую очередь своей простоте, удобству монтажа, возможности измерения локальной температуры. Они гораздо более линейны, чем многие другие датчики, а их нелинейность на сегодняшний день хорошо изучена и описана в специальной литературе. К числу достоинств термопар относятся также малая инерционность, возможность изме-

рения малых разностей температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2200°C) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры на уровне $\pm 0,01^\circ\text{C}$. Они вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для последующей обработки. Преобразователи термоэлектрические (термопары) используются для работы с жидкими, твердыми и газообразными средами. Использование термоэлектрических преобразователей (термопар) допускается для контроля сыпучих сред, неагрессивных, а также агрессивных, по отношению к которым материалы, контактирующие с измеряемой средой, являются коррозионностойкими к материалу, из которого изготовлен корпус прибора.

Список литературы

1. ГОСТ 4.174-85 в части термоэлектрических преобразователей
2. *Материалы для термоэлектрических преобразователей* : Тез. докл. IV межгос. семинара (нояб. 1994 г.), 196 с. ил. 20 см, СПб. ФТИ 1995
3. *Полупроводниковые материалы для термоэлектрических преобразователей* : Тез. докл. всесоюз. семинара (окт. 1985 г.), 167 с. ил. 20 см, Л. ФТИ 2005
4. Г. К. Котырло, А. И. Войченко, Термоэлектрические генераторы в быту и промышленности / 44,[1] с. 20 см, Киев "Знание" 2006

ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА С ПАРАМЕТРОМ В ВИДЕ МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА НА ФОНЕ СЛУЧАЙНОЙ СОВОКУПНОСТИ ЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ.

Прокофьев Михаил Львович¹, Горбунов Александр Константинович²

¹студент группы САПР.Б-21; ²Заведующий кафедрой физики, Доктор физико-математических наук, Профессор

e-mail: ¹shinoda25px@yandex.ru; ²kf_mgtu_fiz@mail.ru

Рассмотрена задача выделения последовательности случайных сигналов с ненаблюдаемым параметром в виде марковского процесса на фоне пуассоновского потока ложных сигналов. Предложен квазиоптимальный метод решения данной задачи, подобный методу последовательного декодирования древовидных кодов, и произведена оценка его эффективности.

Пусть $\lambda(t)$ – однородный марковский процесс с переходной плотностью вероятности $P_t(\lambda\lambda')$ и пусть имеется измерительное устройство, позволяющее получать информацию об этом процессе. Будем полагать, что наблюдения производятся в дискретные моменты времени с интервалом τ и результаты каждого наблюдения представляются в виде совокупности случайного числа сигналов со случайными параметрами. Если $\lambda \in \Omega$ – текущее значение наблюдаемого процесса $\lambda(t)$, то при однократном наблюдении на выходе измерительного устройства с вероятностью $D(\lambda)$ может появиться “полезный” сигнал, наблюдаемый параметр которого $y \in S$ имеет плотность распределения $f(y/\lambda)$; с вероятностью $1 - D(\lambda)$ полезный сигнал может не появиться (произойдет «пропуск»). Помимо полезного сигнала и независимо от него при каждом наблюдении могут появляться ложные сигналы. Совокупности ложных сигналов, получаемые в различные моменты наблюдения, будем считать независимыми реализациями пуассоновского потока с интенсивностью $\gamma(y)$.

При сделанных предположениях условная плотность вероятности получения при единичном наблюдении l сигналов с параметрами y_1, \dots, y_l ($y \in S$) имеет вид:

$$P(y_1, \dots, y_l; S/\lambda) = \exp\left(-\int_S \gamma(y) dy\right) \prod_{i=1}^l \gamma(y_i) \left[1 - D(\lambda) + \sum_{i=1}^l \frac{D(\lambda)f(y_i/\lambda)}{\gamma(y_i)}\right] \quad (1)$$

(здесь λ - текущее значение ненаблюдаемого процесса $\lambda(t)$).

Задача состоит в том, чтобы по результатам последовательных наблюдений формировать оптимальные оценки параметров ненаблюдаемого

процесса $\lambda(t)$. Оптимальные оценки формируются исходя из конкретного вида функции потерь и апостериорной плотности распределения значений параметра λ . Апостериорная плотность распределения параметра λ после n наблюдений формируется по следующему рекуррентному правилу:

$$\tilde{\omega}_n(\lambda) = \frac{\omega_n(\lambda)\Lambda(\lambda; y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)})}{1 - \pi_n + \int_{\Omega} \omega_n(\lambda')\Lambda(\lambda'; y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)})d\lambda'}, \quad n=1, 2, \dots, \quad (2)$$

где $\pi_n = \int_{\Omega} \omega_n(\lambda)d\lambda$,

$$\omega_n(\lambda) = \int_{\Omega} \tilde{\omega}_{n-1}(\lambda')P_{\tau}(\lambda/\lambda')d\lambda', \quad n=2, 3, \dots,$$

$\omega_1(\lambda)$ – априорная плотность,

$$\Lambda(\lambda; y_1, \dots, y_l) = 1 - D(\lambda) + \sum_{i=1}^l \frac{D(\lambda) f(y_i/\lambda)}{\gamma(y_i)}. \quad (3)$$

Априорная плотность $\omega_1(\lambda)$, как правило, гладкая функция. Если плотность распределения ошибок единичных измерений $f(y/\lambda)$ и переходная плотность $P_{\tau}(\lambda/\lambda')$ имеют гауссовский вид, то апостериорная плотность $\tilde{\omega}_n(\lambda)$ будет иметь вид суперпозиции большого числа гауссовских пиков, причем, число этих пиков будет быстро возрастать с ростом n . Каждый из таких пиков соответствует одной из всевозможных последовательностей из сигналов и пропусков, соответствующих различным моментам наблюдения. Множество всех таких последовательностей имеет древовидную структуру. Любая оптимальная процедура оценивания требует обработки всех ветвей этого «дерева» и поэтому оказывается чрезмерно сложной. В связи с этим возникает необходимость синтеза простых в реализации квазиоптимальных процедур.

Выясняется, что эта задача имеет сходство с задачей декодирования древовидных кодов и к ней можно применить идеи последовательного декодирования.

Вместо плотности $\tilde{\omega}_n(\lambda)$ будем рассматривать функцию $\tilde{\rho}_n(\lambda) = \tilde{\omega}_n(\lambda)/(1 - \int_{\Omega} \tilde{\omega}_n(\lambda)d\lambda)$. Логарифмы объемов («веса») пиков этой функции преобразуются независимо друг от друга по правилу, имеющему при $n \gg 1$ асимптотический вид:

$$\rho_n = \rho_{n+1} + \begin{cases} \ln \frac{D(\lambda_{\vec{n}}) f(y_i^{(n)} / \lambda_{\vec{n}})}{\gamma(y_i)} \\ \ln(1 - D(\lambda_{\vec{n}})) \end{cases}$$

при включении в обрабатываемую ветвь на n -м шаге сигнала $y_i^{(n)}$, при пропуске сигнала.

Здесь $\lambda_{\vec{n}}$ – координата максимума обрабатываемого пика функции $\tilde{l}_n(\lambda) = \tilde{\omega}_n(\lambda)/(1 - \int_{\Omega} \tilde{\omega}_n(\lambda)d\lambda)$.

При этом оказывается возможным использовать аналогии алгоритмов последовательного декодирования. Анализ эффективности этих алгоритмов показывает, что при $\gamma(y) \geq \gamma_0$, где

$$\ln \gamma_0 = \frac{1-D(\lambda)}{D(\lambda)} \ln(1-D(\lambda)) + \int_s f(y/\lambda) \ln D(\lambda) f(y/\lambda) dy, \quad (4)$$

Надежное выделение сигналов с переменными параметрами на фоне потока ложных сигналов становится невозможным, а при

$$\gamma(y) \geq \gamma_1 = \frac{(1 - \sqrt{1-D(\lambda)})^2}{D(\lambda) \left(\int_s \sqrt{f\left(\frac{y}{\lambda}\right)} dy \right)^2} \quad (5)$$

Происходит скачкообразное возрастание среднего быстродействия вычислительных средств, требуемых для их реализации.

Список литературы

Д. Сакрисон «Лекции по теории связи» — М.: «Мир», 1992.

СЕКЦИЯ 15.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И СИСТЕМЫ;
ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ

Бердыев Д.Д.¹, Володин И.А.², Зырянова А.В.³

¹студент; ²студент; ³студентка

e-mail: ¹pyre1@mail.ru; ²pyre1@mail.ru; ³pyre1@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А. С. Николаев

Цикловое фазирование блоковых кодов необходимо для правильного определения границ кодовых слов. При неправильном фазировании никакие коды и методы декодирования не способны правильно восстановить переданную информацию.

Существует несколько способов циклового фазирования. Для целей фазирования в передаваемую информацию необходимо добавлять избыточность. Однако избыточность информации снижает эффективную скорость передачи информации. Каналы и их пропускная способность являются дефицитом, поэтому задача нахождения способов циклового фазирования, требующих введения минимума избыточной информации, является актуальной.

При передаче информации по каналам связи широко применяются блоковые коды, содержащие избыточность, заложенную в них для борьбы с ошибками. Использование этой же избыточности для целей циклового фазирования позволит обойтись без введения дополнительной избыточности для фазирования.

При попытке декодировать принятое при сдвиге циклового фазирования слово чаще всего будет обнаружена ошибка. Это связано с тем, что декодируемое слово состоит из окончания одного кодового слова и начала следующего кодового слова. Однако процесс является вероятностным – возможно, что такое слово будет декодировано и без ошибок.

Чаще всего системы передачи данных используют синхронный способ обмена, при котором кодовые слова следуют друг за другом непрерывно. В этом случае обнаружение синфазного состояния можно проводить, усредняя результаты поиска фазы при различных сдвигах принятой информации.

При синхронном состоянии и отсутствии ошибок декодирование всегда будет происходить без обнаружения ошибок. При асинхронном состоянии возможны как декодирование без обнаружения ошибок, так и де-

кодирование с обнаружением ошибок. Способность обнаруживать кодом ошибки фазирования зависит от используемого избыточного кода.

Для анализа фазирующих свойств циклических кодов была создана схема стенда, определяющего частоту декодирования без ошибок при различных сдвигах фазы принимаемых кодовых слов. Наличие программных средств для персональных компьютеров, моделирующих поведение различных электронных схем, позволило провести исследование на базе одной из таких программ, не прибегая к монтажу реальной схемы.

Схема стенда приведена на рис. 1.



Рисунок 1. Стенд для исследования фазирующих свойств циклических кодов

Созданная схема исследует циклический код $(7,4)$, хотя путём незначительных переделок можно создать схему для исследования других кодов.

Генератор псевдослучайных чисел, основой которого является девятиразрядный генератор максимальных последовательностей, формирует исходную информацию, которая будет подвергаться кодированию. Достаточно большая длина псевдослучайной последовательности достаточно хорошо имитирует случайный характер передаваемой информации.

Коммутатор пропускает в кодер информацию, в те моменты времени, когда кодер получает информационные разряды.

Кодер производит операцию кодирования семиразрядным циклическим кодом.

Декодер производит обратную операцию – декодирование с обнаружением ошибок. При этом, в отличие от традиционных декодеров, производящих декодирование один раз после приёма всего кодового слова, здесь операция декодирования производится при каждом сдвиге принимаемой информации на один разряд.

Результаты декодирования поступают в набор счётчиков. Каждый счётчик считает количество декодирований без ошибок при определённом сдвиге входящей информации относительно правильных границ.

Сдвиг относительного синфазного состояния задаётся распределителем. Он определяет, какой из счётчиков увеличит своё значение на единицу при декодировании без ошибок. Распределитель управляет также работой кодера и коммутатора, задавая для них начало следующего кодового слова и время передачи информационных разрядов.

С выхода распределителя после передачи каждого кодового слова подаётся импульс на счётчик слов. Закончив подсчёт заданного числа кодовых слов, счётчик слов останавливает работу тактового генератора, который формирует тактовые сигналы для всех остальных блоков.

В результате работа стенда приостанавливается, что даёт возможность считать результаты его работы.

Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими исследованиями: синфазное состояние всегда обнаруживается правильно.

При сдвиге фазы на один разряд в любую сторону вероятность обнаружения ошибки фазирования составляет 0,5. При каждом последующем сдвиге она уменьшается вдвое. Небольшое отличие полученных результатов от теоретических объясняется двумя причинами:

- генератор псевдослучайных последовательностей формирует не совсем случайный сигнал;

- точность результатов зависит от разрядности счётчиков, однако с ростом разрядности счётчиков резко увеличивается время работы стенда. Поэтому реально характеристики были получены при передаче 1024 кодовых слов.

Используя схему данного стенда как основу можно создать схемы для исследования других кодов.

ОСЦИЛЛИРУЮЩАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Лавренков Юрий Николаевич¹, Комарцова Людмила Георгиевна²

¹аспирант; ²профессор, д.т.н.

e-mail: ¹georglawr@yandex.ru; ²lkomartsova@yandex.ru

Методы статистического эксперимента получили широкое развитие в различных областях науки. Одним из методов анализа сложных систем является способ получения «шума», как источника всех возможных сигналов. В результате становится возможным решать задачи анализа, связанные с определением характеристик системы, путём исследования её выходного сигнала при действии шума на входе.

Для формирования последовательности значений была разработана структура, способная генерировать «информационный шум». За основу такой системы был взят нейрон Хопфилда [1]. Этот тип нейрона относится к динамическим нейронам, поведение которых определяется их предыдущими состояниями. Нейрон Хопфилда описывается рекуррентным уравнением:

$$x(k+1) = \psi\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i(k) + \theta\right), \quad (1)$$

где k – отчёты моментов времени, x – входные сигналы, w – весовые коэффициенты, ψ – функция активации нейрона, θ – порог нейронного элемента. Нейрон Хопфилда в цепи обратной связи имеет элемент задержки, реализующий операцию сдвига назад во времени $z^{-1}x(k+1) = x(k)$.

На основе рекуррентного нейрона производится построение нейронной сети – осциллятора, которая состоит из 4-х модифицированных нейронных элементов. Особое внимание уделяется возможности организации колебательного режима работы. Структурная схема сконструированной нейронной сети – осциллятора показана на рис. 1. На рисунке блоки \sin , asin , \cos , acos выполняют соответствующие тригонометрические операции над входными переменными, mod – деление по модулю, Z^{-1} – задержка сигнала на один такт работы осциллятора, hypot – вычисляет квадратный корень из суммы квадратов своих аргументов (эквивалент процедуры вычисления гипотенузы в прямоугольном треугольнике).

Выходной сигнал системы имеет сложный характер, поэтому при его преобразовании в бинарную последовательность задаётся определённое значение порога [2]. Если значение сигнала на текущем такте работы сис-

темы выше порогового уровня – это «логическая единица», в противном случае – «логический ноль». Для формирования порога используется среднее значение предыдущих 10 отсчётов. Структурная схема системы, формирующей пороговое значение, представлена на рис. 2.

Выходной сигнал осциллятора показан на рис. 3. Отсчёт времени проводится в тактах работы системы. Такт работы осциллятора – это время необходимое для генерации нового состояния. Выходной сигнал показывает, что детерминированная система (внутреннее состояние которой развивается по детерминированным правилам) ведёт себя сложным образом [3]. Даже если состояния осциллятора определяются предыдущими выходными значениями, небольшие случайные изменения весов, которые могут быть произведены во время настройки системы, делают невозможным предсказание состояний системы на длительный интервал времени [4].

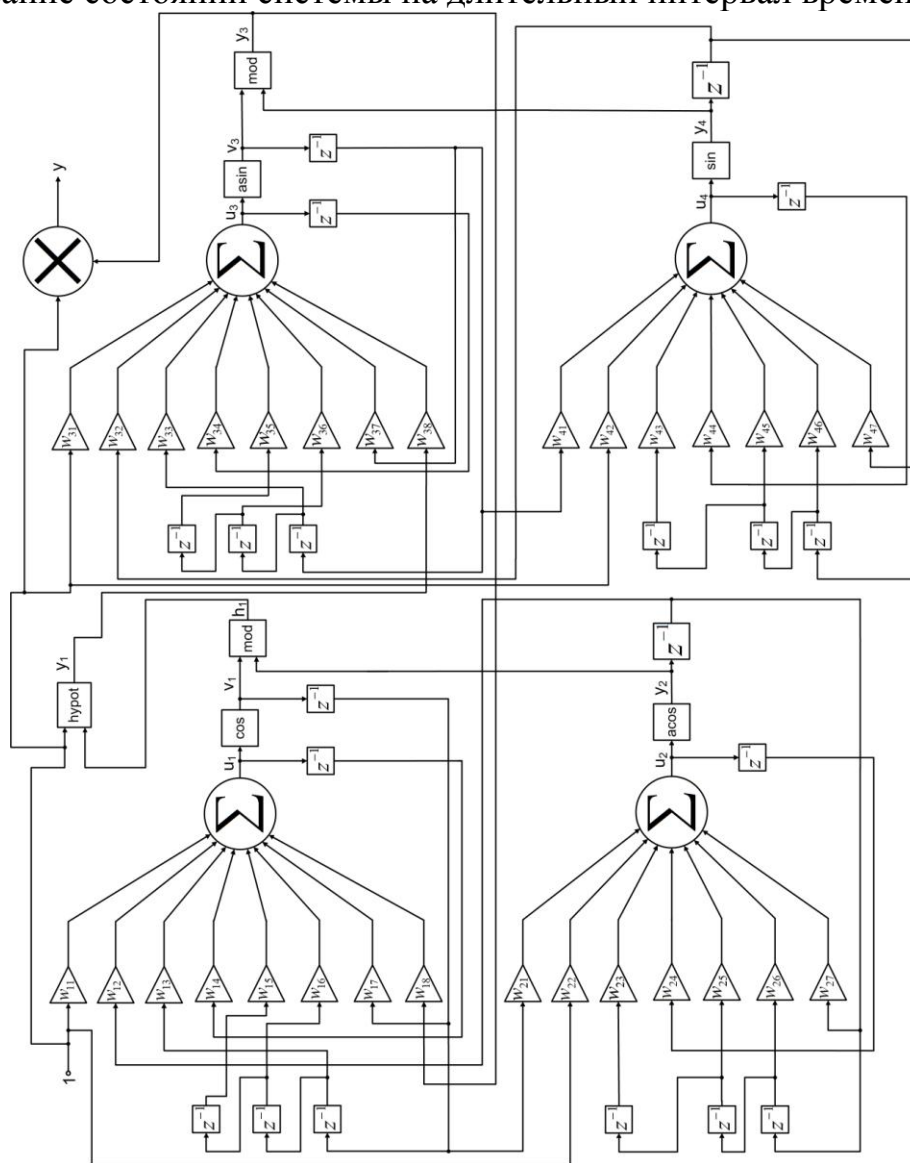


Рис. 1

Рассмотрим сигнал, приведённый на рис. 4, на интервале времени от 2700 до 2800 тактов. Полученную зависимость необходимо преобразовать

в бинарную последовательность. Сложная форма сигнала не позволяет задать фиксированное значение порога и считать логической единицей случай, если значение сигнала выше порога, а логическим нулём состояние системы, когда выходной сигнал ниже заданного порогового уровня. В осцилляторе значение порога формируется на основе среднего значения десяти предыдущих отсчетов сигнала. Значения сигнала порога системы показаны на рис. 5 и рис. 6.

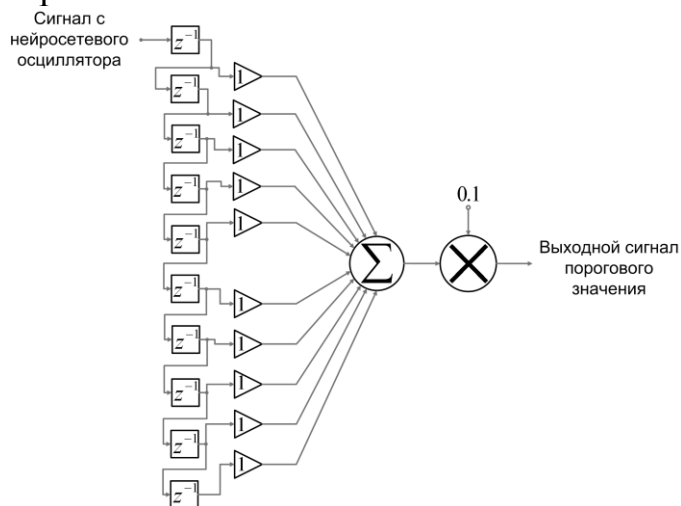


Рис. 2

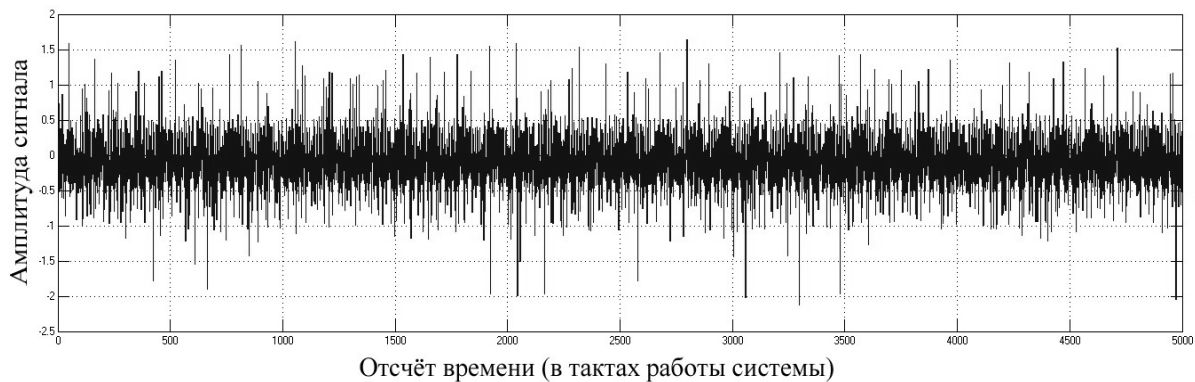


Рис. 3

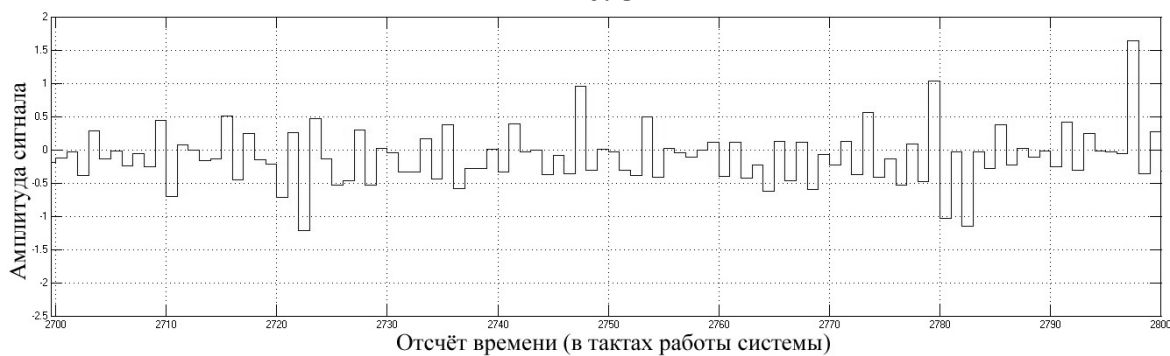


Рис. 4

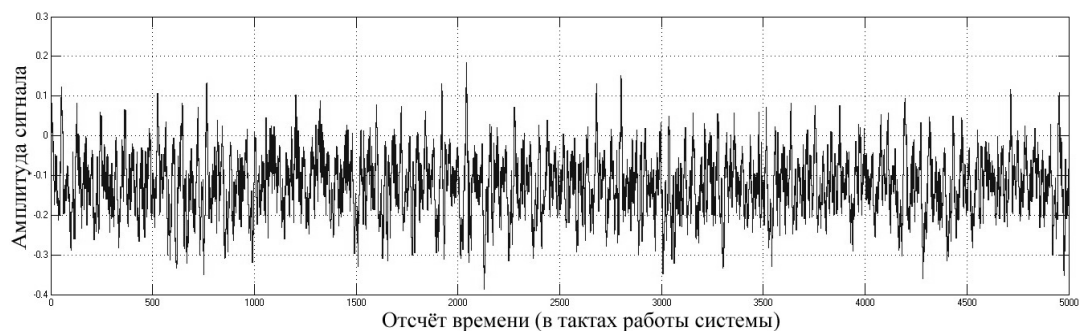


Рис. 5

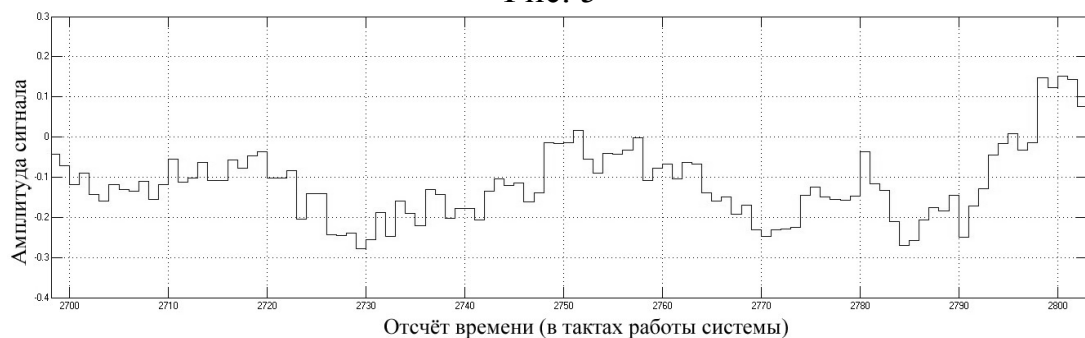


Рис. 6



Рис. 7

В результате преобразования получаем бинарную последовательность (рис. 7). Из полученного набора нулей и единиц в дальнейшем формируются бинарные 32-х разрядные векторы, из которых после нормализации получают значения, находящиеся в интервале от 0 до 1, которые используются для анализа систем, содержащих сложные внутренние зависимости.

Список литературы

1. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Кн. 1: Учеб. пособие для вузов/ Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.: ил. (Нейрокомпьютеры и их применение).
2. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. Пер. с англ. Осипов А.И. – М.: ДМК Пресс, 2006 – 312 с.
3. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 1104 с.

СЕКЦИЯ 16.

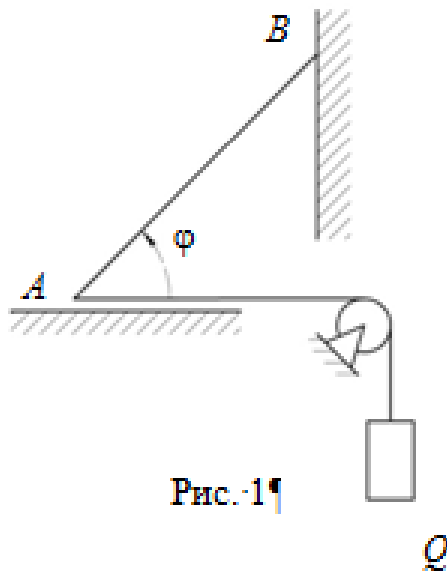
ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

ЗАДАЧА О РАВНОВЕСИИ И ДВИЖЕНИИ ОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

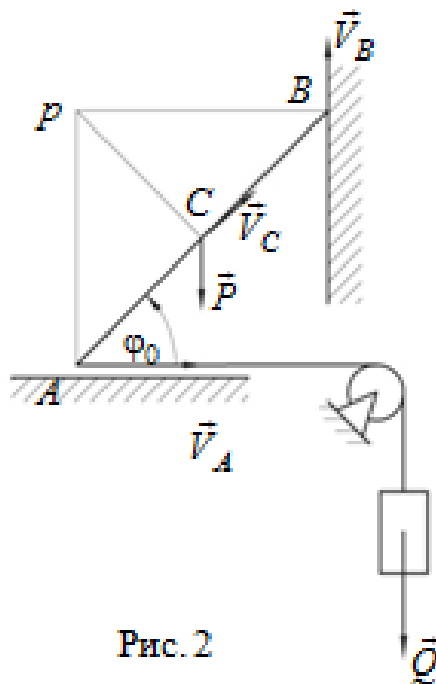
Емельянов Александр Витальевич¹, Васин Павел Александрович²

¹Профессор, Доктор технических наук; ²Студент

e-mail: ¹gdrnac@gmail.com; ²gdrnac@gmail.com



На рис. 1 однородный стержень AB длиной $2l$ и весом P может скользить в плоскости рисунка, опираясь нижним концом на гладкий пол, а верхним – на гладкую стену. К нижнему концу стержня прикреплена нерастяжимая нить, перекинутая через идеальный блок и натянутая грузом Q . Движение начинается из состояния покоя, когда $\varphi = \varphi_0$. Найти скорость груза V как функцию угла φ , полагая соотношение между P , Q и φ_0 такое, что груз при движении опускается.



Найдем сначала угол φ_0 из условия равновесия системы. Восстановим перпендикуляры к виртуальным скоростям точек A и B (рис. 2) до их пересечения в точке p . Поскольку p – это мгновенный центр виртуального вращения стержня AB , то виртуальная угловая скорость и скорость V_c его середины определяются выражениями

$$\omega = \frac{V}{2l \sin \varphi_0}, \quad V_c = \omega l = \frac{V}{2 \sin \varphi_0}, \quad (1)$$

где V – скорость груза Q и нижнего конца стержня A .

В соответствии с принципом виртуальных перемещений, сумма виртуальных работ сил Q и P равна нулю, если $\varphi = \varphi_0$.

$$\delta A_Q + \delta A_P = 0, \quad \delta A_Q = Q\delta S_Q, \quad \delta A_P = -P\delta S_P, \quad (2)$$

где δS_Q и δS_P – виртуальные перемещения точек приложения сил \vec{Q} и \vec{P} в вертикальном направлении.

Поскольку виртуальные перемещения точек A и C пропорциональны их виртуальным скоростям, то из рис. 2 следует равенство

$$\delta S_P = \delta S_Q \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \varphi_0. \quad (3)$$

Совместное рассмотрение соотношений (2) и (3) приводит к результату

$$\operatorname{ctg} \varphi_0 = 2 \frac{Q}{P}. \quad (4)$$

Задачу о движении механической системы, изображенной на рис. 1, решим на основе теоремы об изменении кинетической энергии в интегральной форме

$$T - T_0 = \sum A_k^e + \sum A_k^i. \quad (5)$$

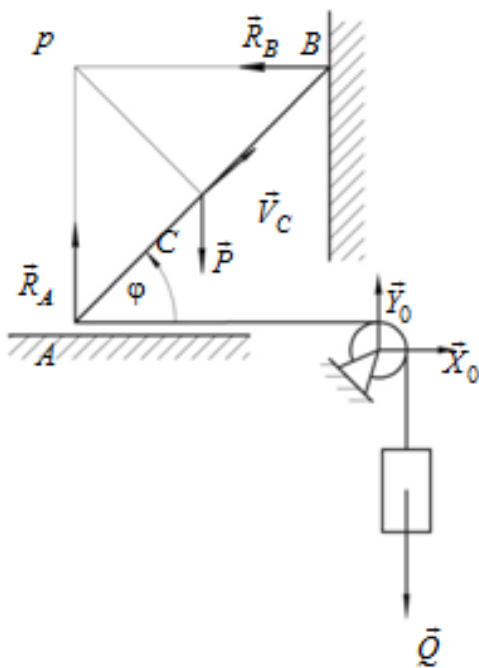


Рис. 3

В механическую систему включаем: груз Q , нить, блок и стержень AB . На рис. 3 изображены активные силы \vec{Q} и \vec{P} , реакции связей $\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{R}_A, \vec{R}_B$.

В этой задаче нет внутренних сил, совершающих работу, поэтому последняя сумма в уравнении (5) равна нулю. T_0 тоже равно нулю, поскольку движение начинается из состояния покоя, когда справедливо равенство (4). Итак, уравнение (5) принимает вид

$$T = A_Q + A_P. \quad (6)$$

Кинетическая энергия системы складывается из энергии груза

$$T_1 = \frac{QV^2}{2g} \quad (7)$$

и энергии стержня

$$T_2 = \frac{I_p \omega^2}{2}. \quad (8)$$

В последнем выражении I_p – момент инерции стержня относительно оси, ортогональной плоскости рисунка и проходящей через точку p – МЦВ стержня. I_p можно вычислить по теореме Гюйгенса – Штейнера

$$I_p = \frac{Pl^2}{3g} + \frac{P}{g}l^2 = \frac{4}{3} \frac{Pl^2}{g}. \quad (9)$$

Выражение (1) для угловой скорости соответствует динамической задаче после замены φ_0 на φ

$$\omega = \frac{V}{2l \sin \varphi}. \quad (10)$$

Итак, в соответствии с равенствами (8) – (10)

$$T_2 = \frac{PV^2}{6g \sin^2 \varphi}. \quad (11)$$

Сложив T_1 (7) и T_2 (8), найдем полную кинетическую энергию системы

$$T = \frac{V^2}{6g} \left(3Q + \frac{P}{\sin^2 \varphi} \right). \quad (12)$$

Если угол φ возрастает от φ_0 до φ , то груз Q опускается на расстояние

$$2l(\cos \varphi - \cos \varphi_0),$$

Совершив при этом работу

$$A_Q = 2Ql(\cos \varphi_0 - \cos \varphi). \quad (13)$$

при этом центр масс стержня поднимется на высоту

$$h = l(\sin \varphi - \sin \varphi_0)$$

и совершит работу

$$A_P = -Pl(\sin \varphi - \sin \varphi_0).$$

Суммарная работа сил Q и P определяется выражением

$$A_Q + A_P = l[2Q(\cos \varphi_0 - \cos \varphi) - P(\sin \varphi - \sin \varphi_0)]. \quad (14)$$

Подставив T (12) и суммарную работу (14) в уравнение (6), получим окончательный вид исходного уравнения, из которого найдем скорость груза V

$$V = \sqrt{6gl \frac{2Q(\cos \varphi_0 - \cos \varphi) - P(\sin \varphi - \sin \varphi_0)}{3Q + \frac{P}{\sin^2 \varphi}}}.$$

В пределе, когда $\varphi = \frac{\pi}{2}$, это выражение упрощается

$$V = \sqrt{6gl \frac{2Q \cos \varphi_0 - P(1 - \sin \varphi_0)}{3Q + P}}.$$

Список литературы

1. *Емельянов А.В.* Введение в аналитическую механику, Калуга: Эйдос, 2004.–124 с.
2. *Маркеев А.П.* Теоретическая механика, М.: ЧеРо, 1999.–569 с.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛО-КОМПОЗИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Астахов М.В.¹, Нестеров А.В.²

¹профессор, д.т.н.; ²студент

e-mail: ¹k5-kf@yandex.ru; ²k5-kf@yandex.ru

Применение полимерных композитных материалов на основе стеклоткани и эпоксидной смолы (ПКМ) весьма эффективно в плане снижения металлоемкости, увеличения ремонтпригодности изделия, экономически выгодно. На производство одного килограмма ПКМ тратится на несколько порядков меньше энергии, чем на производство одного килограмма черных или дешевых цветных металлов, а значит такое производство наиболее чисто в экологическом плане, так как происходит сравнительно меньшее загрязнение тропосферы Земли теплом и вредными веществами.

Ремонт изделий из ПКМ можно осуществлять практически холодным способом, без применения дорогостоящей аппаратуры с высокой энергоемкостью.

Изделия из ПКМ не имеют намагниченности, радиопрозрачны, химически стойки и, самое главное, их механические характеристики можно менять при изготовлении необходимых деталей или узлов. То есть в процессе изготовления изделий из ПКМ происходят одновременное создание нового материала с заданными свойствами и соответствующих узлов или агрегатов.

На современном этапе развития инженерного дела (особенно в ремонтных производствах) пока невозможно полностью изготавливать из ПКМ все изделие (хотя стремиться к этому нужно, и во многих случаях, особенно в 3-D печати объемных изделий с помощью специальных принтеров, удастся добиться практически сто процентов применения ПКМ в изделии).

Поэтому актуальным является вопрос изготовления комбинированных конструкций с металло-композитными соединениями. Особенно широко они применяются в авиа и ракетостроении, кораблестроении, частично в строительстве, автомобилестроении, общем машиностроении.

В сельхозмашиностроении подобные комбинированные изделия встречаются достаточно редко.

Но характеристики ПКМ, о которых было сказано выше, могут значительно повысить эффективность сельскохозяйственной техники при ее создании и ремонте в случае применения комбинированных металло-композитных соединений [1].

Одной из важнейших проблем в данном случае является проблема создания равнопрочного соединения «металл-композит», которую наиболее эффективно и технологически просто можно решить путем применения дискретных крепежных элементов (КЭ) примененных в [2]. Схема крепления в ПКМ одного КЭ показана на Рис 1.

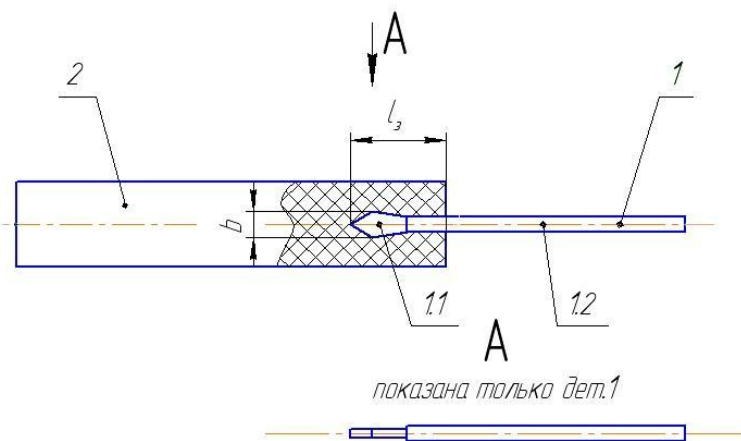


Рис.1

Здесь: 1-КЭ; 2-деталь из ПКМ; 1.1-плоская копьеобразная лопатка КЭ; 1.2-цилиндрический стержень КЭ, который крепится в металлическую деталь; b - ширина лопатки; l_3 - глубина заглубления КЭ в ПКМ. КЭ делается из металла, чаще всего из стали.

При соединении листов ПКМ с металлическим листом возможно применение КЭ как показано на Рис. 2 (поперечное сечение соединения)

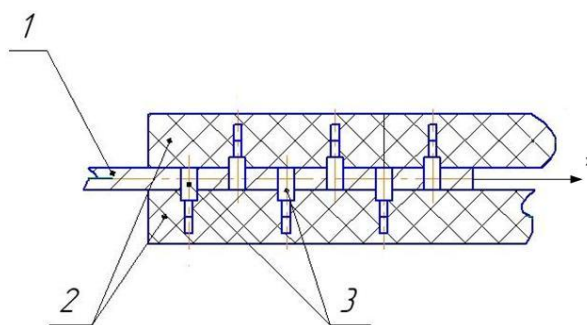


Рис.2

Здесь: 1- металлическая листовая деталь; 2- листовые детали из ПКМ; 3 - КЭ, плоскости лопаток которых перпендикулярны оси x ;

Изготовление металло-композитных соединений с данными КЭ в единичном производстве возможно с помощью обычных слесарных работ, а в мелкосерийном и крупносерийном производстве с помощью штамповки и фрезерования.

Сборка металло-композитных соединений будет эффективна в случае применения вакуумного прессования металлических деталей с КЭ в препреги из ПКМ с достаточно точно рассчитанным временем прижатия (нарастания вакуума в рабочей камере) с целью исключения разрыва волокон стеклоткани при внедрении заострённых крепежных элементов в матрицу.

Список литературы

1. *Астахов М.В., Сорокина Н.И., Хотеев П.И.* Проектирование и экспериментальное исследование соединения «сталь-композит» // Вестник МГТУ им Н.Э. Баумана. -Сер. «Машиностроение», 2011.- спецвыпуск «Перспективные конструкционные материалы и технологии». С. 220-226.

2. *Сорокина И.И., Астахов М.В.* Исследование влияния формы крепежного Элемента на прочность соединения «металл-композит» // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. -2012. № 02. Режим доступа: http://tec_hnomag.edu.ru/doc/30Б514.html. (Дата обращения 5.11.2013).

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ В КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОМ КОМПЛЕКСЕ MSC PATRAN-NASTRAN

Зуев Е.С.¹, Галенко Н.Е.², Зотова Е.А.³

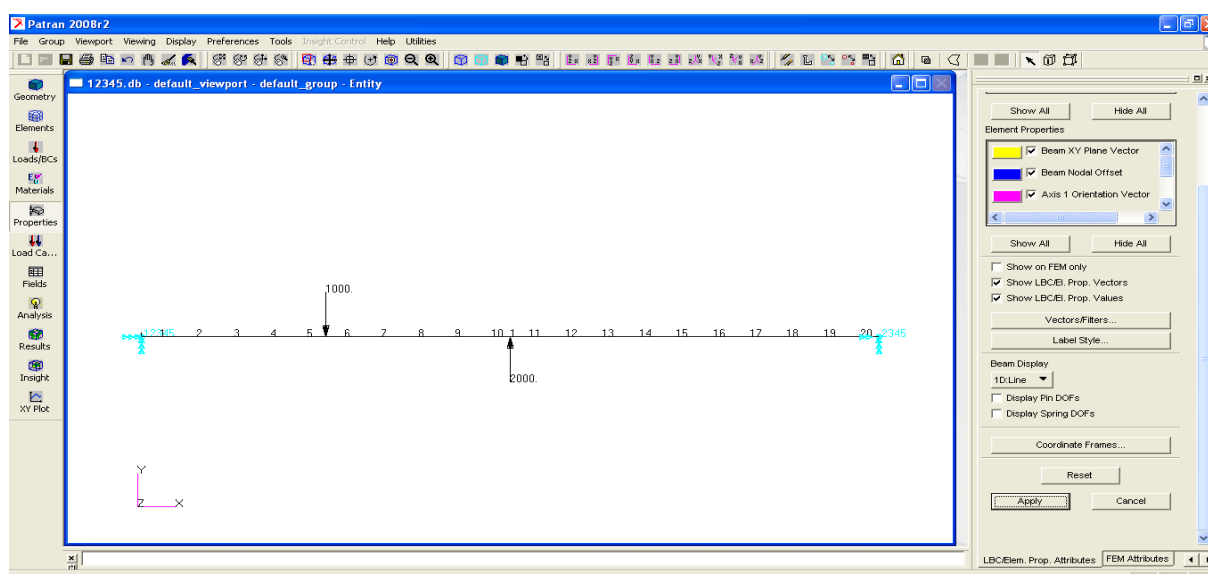
¹ст. преподаватель; ²студент; ³студент

e-mail: ¹k5-kf@yandex.ru; ²k5-kf@yandex.ru; ³k5-kf@yandex.ru

В связи с развитием вычислительной техники, широкое распространение получили численные методы решения различных задач. Наиболее распространенным методом решения задач механики сплошных сред является метод конечных элементов (МКЭ). Одним из программных продуктов, реализующих МКЭ в перемещениях, является комплекс MSC PATRAN-NASTRAN.

Визуализация результатов расчетов во всех вычислительных комплексах на базе МКЭ осуществляется, как правило, в виде цветовой шкалы, что бывает не всегда удобно. Покажем, как можно представить результаты вычислений в графическом виде - в виде эпюр.

В качестве примера построим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов в статически определимой балке длиной 2 метра, шарнирно закрепленной по концам. В сечении на расстоянии 0,5 метра от левого конца приложим сосредоточенную силу, равную 1000 Н вертикально вниз, а на расстоянии 1 метр от того же конца сила, равную 2000 Н вертикально вверх (рис.1). Поперечное сечение балки примем в виде прямоугольника основанием 0,1 м и высотой 0,02 м.



Запускаем MSC PATRAN и создаем новую базу данных. Все настройки программы берем по умолчанию.

Для создания геометрии балки зададим две точки с координатами (0,0,0) и (2,0,0) и соединим их линией. На этой прямой создадим конечно элементную сетку с шагом, равным 0,1 метра, для того что бы точки приложения нагрузки совпадали с узлами сетки.

Из библиотеки стандартных материалов выбираем сталь **m:steel_iso_SI**. Во вкладке **Input properties** задаем свойства сечения (размеры, материал, ориентацию сечения в пространстве).

Открываем окно **Analysis**, в меню выбираем **Analysis deck**. Открываем вкладку **Subcases**, где в меню **Subcases options** выбираем **Output requests**. Из открывшегося окна **Select result type** выбираем **Element Forces**, после чего нажимаем клавишу **Apply** (рис.2). В окне **Analysis** нажимаем кнопку **Apply**. PATRAN формирует файл с расширением «bdf».

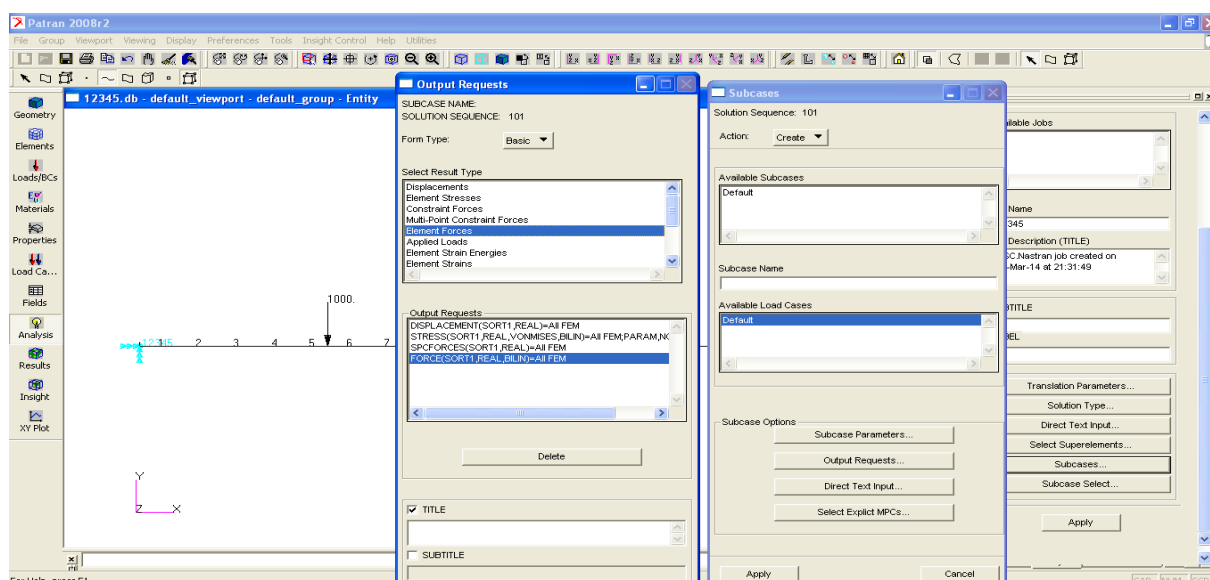


Рис. 2

Запускаем MSC NASTRAN, указываем в открывшемся окне место расположения созданного файла, нажимаем клавишу **Run**. После того, как расчет закончен, в MSC PATRAN открываем окно **Analysis** и нажимаем клавишу **Access results**.

Открываем окно **Results** и в типах результатов анализа выбираем **Marker** (рис.3).

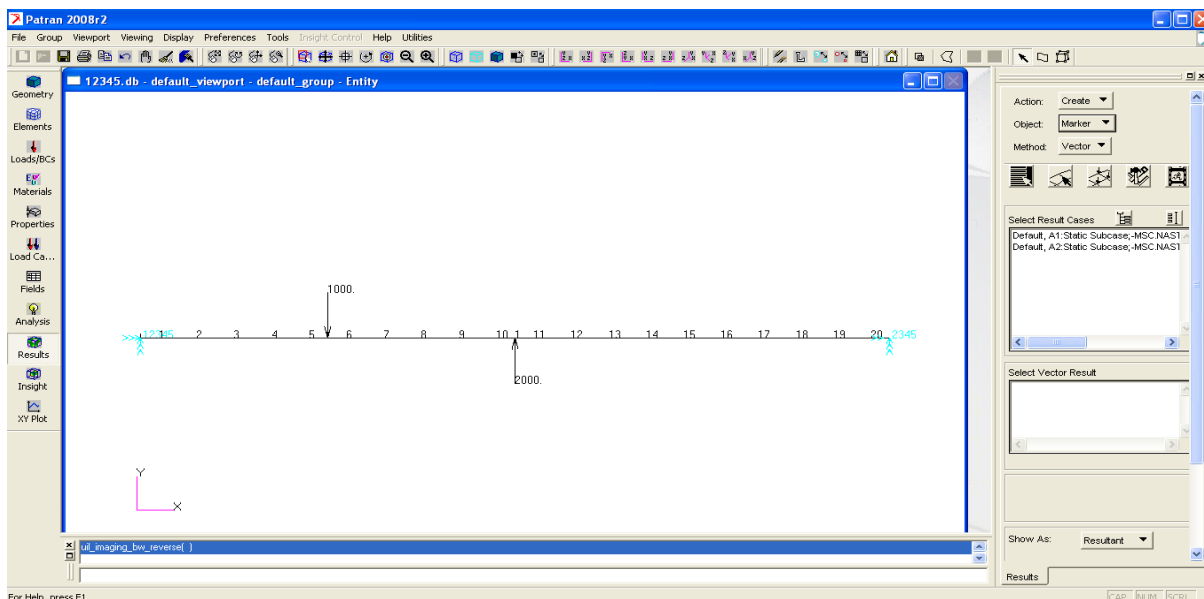


Рис. 3

Для отображения эпюры поперечных сил в результатах анализа выбираем **Bar Forces, Translational**, компонента по оси y (рис.4).

При отображении эпюры поперечных сил в сечениях, где приложены сосредоточенные силы, значения определяются как среднее арифметическое двух значений, принадлежащих разным участкам балки.

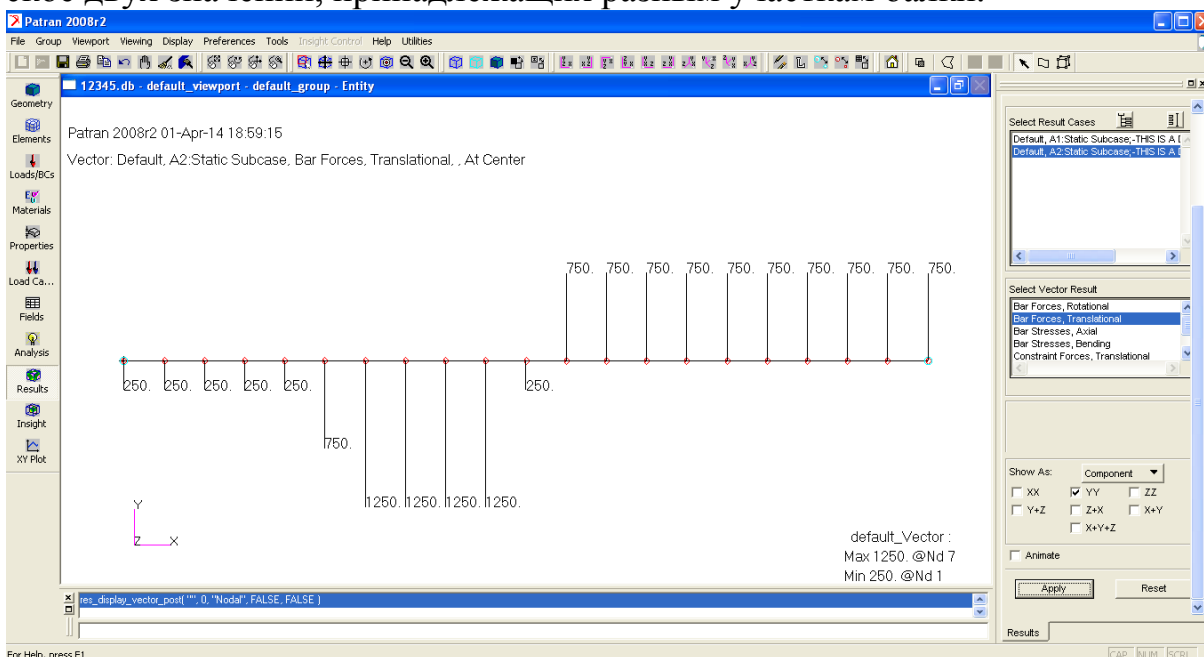


Рис.4

Для отображения эпюры изгибающих моментов в результатах анализа выбираем **Bar Forces, Rotational**, компонента по оси z (рис. 5).

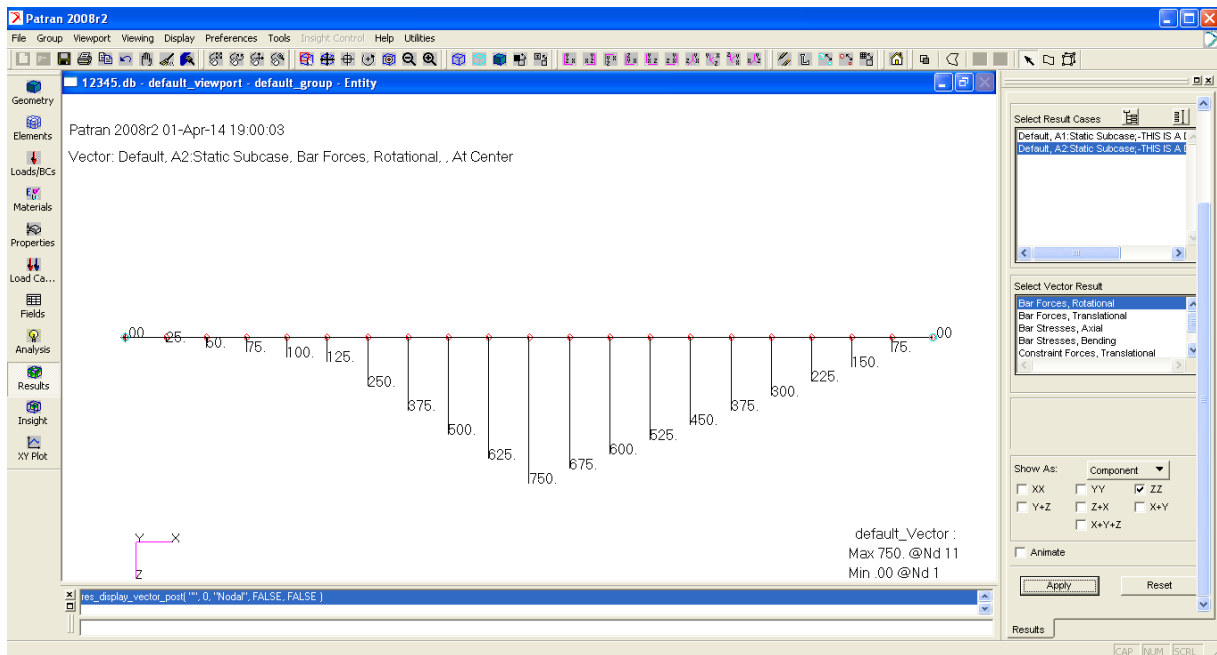


Рис.5

Список литературы

1. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran. Часть I. Учебное пособие – М., 2003. – 130 с.
2. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran. Часть II. Учебное пособие. – М., 2003. – 174 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов Учеб. для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – 592 с. (сер. Механика в технич. ун-те; т. 2).

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НДС ТРУБ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Царьков Андрей Васильевич¹, Пащенко Василий Васильевич²

¹директор филиала, доктор наук; ²ассистент

e-mail: ¹andrey.tsarkov@mail.ru; ²vasiliy.pashchenko@gmail.com

Предлагается методика решения задачи исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) труб магистральных газопроводов с использованием компактных плоских образцов. Разработан алгоритм проведения численного эксперимента и его реализация на языке APDL в среде ANSYS.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, плоский образец, метод конечных элементов, автоматизация построения сетки КЭ*

TECHNIQUE OF CARRYING OUT NUMERICAL EXPERIMENTS AT RESEARCH STRAIN-STRESS STATE OF PIPES UNDER PRESSURE

Tsarkov Andrey Vasilievich¹, Pashchenko Vasiliy Vasilievich²

¹Director of Kaluga branch of BMSTU, doctor of science; ²Assistant

e-mail: ¹andrey.tsarkov@mail.ru; ²vasiliy.pashchenko@gmail.com

The technique of solving the problem of the study of stress-strain state gas pipes using compact flat specimens. The algorithm of the numerical experiment and its implementation in the language APDL in ANSYS was developed.

Keywords: *stress-strain state, flat specimen, finite element method, finite element meshing automation*

Введение. Одной из важнейших проблем развития газовой промышленности является повышение уровня эксплуатационной надежности магистральных газопроводов (МГ). Изношенность основных фондов магистральных газопроводов, которая составляет 56 % и средний возраст линейной части МГ, превышающий 23 года, сказывается на безопасности эксплуатации. Существующие математические модели и методы расчета в

вышеуказанных условиях не раскрывают в полной мере физическую картину напряженно-деформированного состояния трубопровода и условия нагружения, определяющие положение, предшествующее отказу и аварии.

Испытания полноразмерных труб сложны, лабораторные модели практически невозможно изготовить из всех необходимых для исследования марок сталей, поэтому возникает необходимость в разработке и испытании образцов с более простой геометрией. На основании экспериментальных исследований установлено, что при осевом растяжении образца с узкой двусторонней выточкой на длине участка этой выточки возникает двухосное напряженное состояние, соответствующее рабочему состоянию стенки цилиндрического сосуда при нагружении внутренним давлением.

Целью подобных экспериментов является изучение влияния различных свойств и факторов на распределение напряжений в области дефектов для различных классов трубных сталей.

Постановка задачи. Рассматривается напряженно-деформированное состояние в центре плоского образца с двумя боковыми концентраторами, изучается влияние формы выреза на НДС. Нагружение – одноосное растяжение, величина которого может варьироваться. При проведении данного численного эксперимента величина нагружения составляла 35 Тс.

Размеры образца без вырезов:

- длина: 300 мм;
- ширина: 120 мм;
- толщина: 19 мм.

Рассматриваются вырезы в форме трапеции и дуги окружности. Для дугового концентратора могут быть использованы два алгоритма построения геометрии: касательная дуги к наклонной и дуга, вписанная в трапецию.

Варьируемые параметры концентратора круглой формы показаны на рисунке 1:

- угол A38;
- расстояние от оси до края концентратора H33;
- расстояние от центра пластины до начала перехода в окружность по касательной V32;

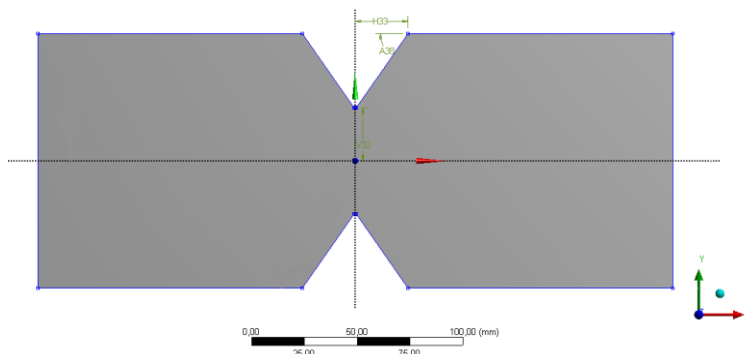


Рис. 1

Варьируемые параметры трапецеидального концентратора показаны на рисунке 2:

- расстояние от центра пластины до нижней кромки концентратора V5;
- расстояние от оси симметрии до края нижней кромки H2;
- горизонтальное расстояние между нижней и верхней кромки концентратора H3;
- вертикальное расстояние между нижней и верхней кромки концентратора V4;

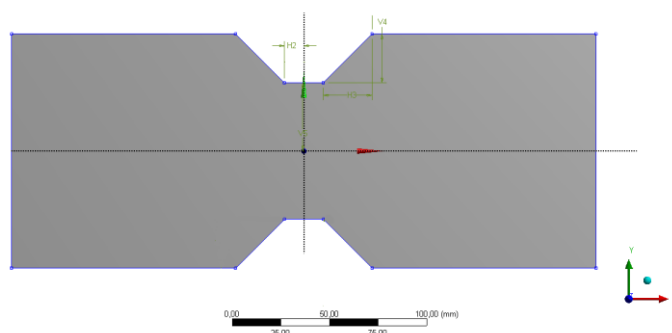


Рис. 2

Разработан и реализован алгоритм создания адаптивной КЭ сетки с учетом различных углов наклона боковой грани концентратора (начиная от угла в 90^0). Основная идея алгоритма – разбиение площади образца на несколько областей, для каждой из которых выбирается размер элементов, степень сгущения вблизи границ и, возможно (если в этом есть необходимость), тип элементов. Сгущение вблизи выреза обусловлено наличием концентрации напряжений в этой области, тогда как сгущение в центральной части пластины – наличием в этой области интересных точек, в которых наблюдается с определенной точностью двухосное напряженное состояние. Вдали от концентратора, возле граней, на которых прикладывается усилие, возможно использование гораздо более крупных КЭ, поскольку здесь наблюдается равномерное напряженное состояние без серьезных градиентов.

Результаты исследования. На рис. 3 показаны примеры полученных при проведении расчетов сеток для трапецеидального и дугового выреза соответственно (при одинаковых параметрах геометрии). На рис. 4 показан участок сетки вблизи дугового концентратора (увеличено). Как видно, получаемая сетка имеет сгущение вблизи концентратора и центральной части образца.

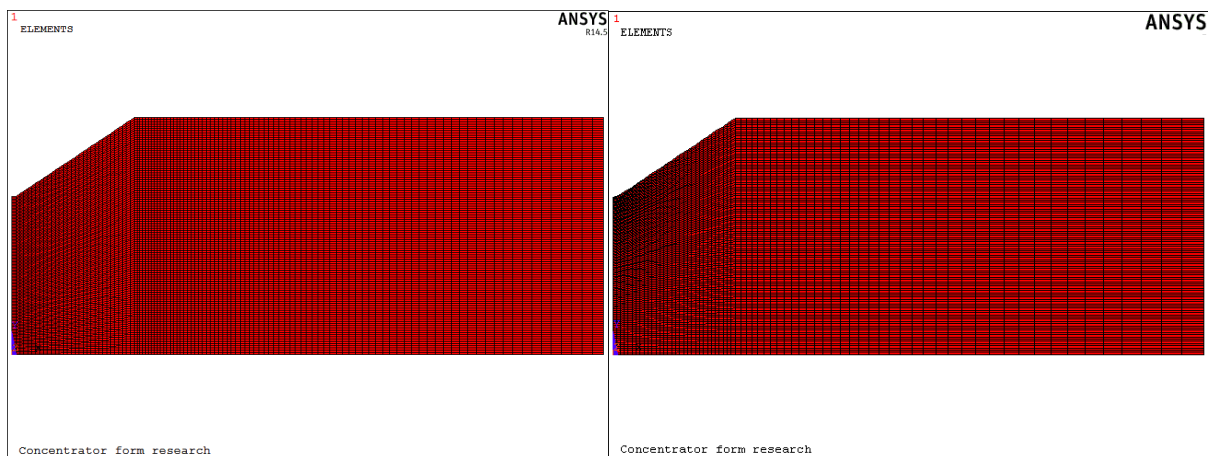


Рис. 3

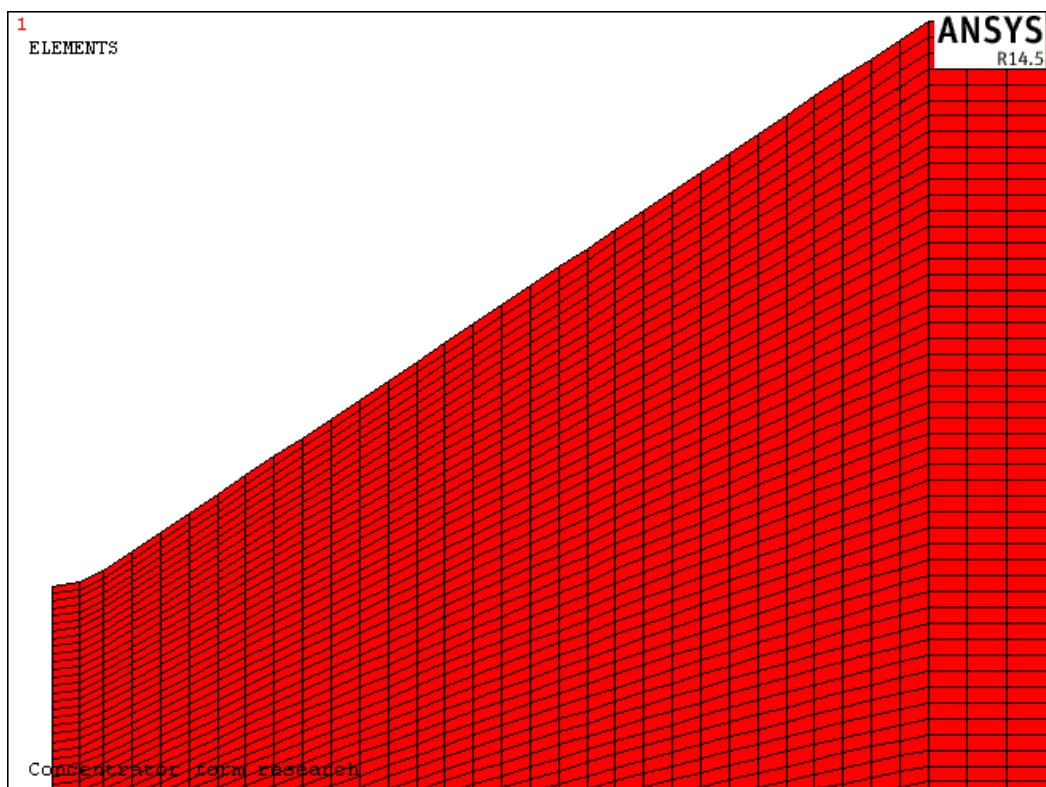


Рис. 4

На рис. 5 показана энергетическая ошибка при исследовании образцов с дуговой формой концентратора при разных значениях параметра $WidL$ (ширина у «дна» концентратора). Справа показан образец с $WidL=20$ мм.

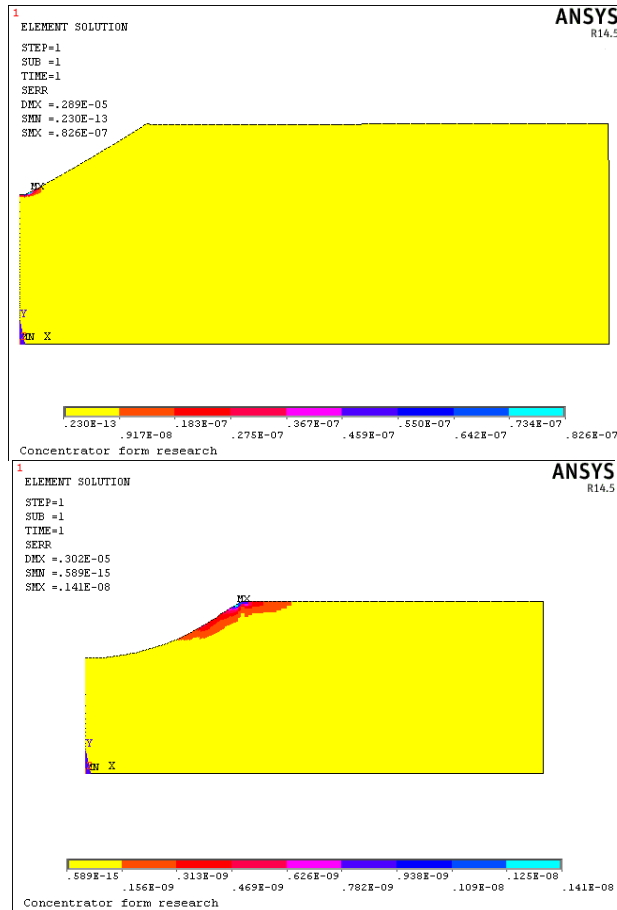


Рис. 5

На рис. 6 показана полученная в результате работы алгоритма сетка для дугового типа концентратора при параметре $WidL=20$ мм.

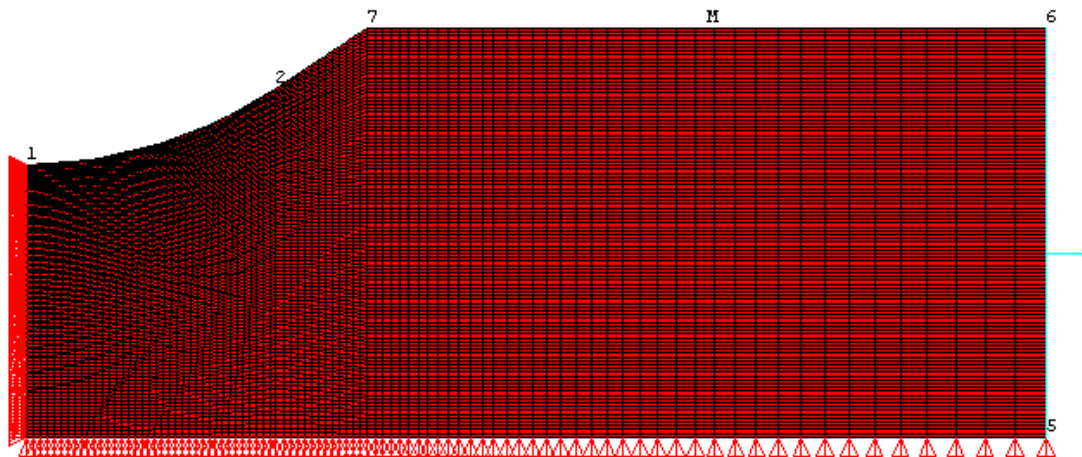


Рис. 6

В процессе исследования величины площади, на которой располагаются точки двухосного напряженного состояния, было изучено НДС при наличии дополнительного концентратора в виде окружности. Наличие такого концентратора позволяет увеличить интересующую нас площадь и существенно смягчить условия проверки отличия напряженного состояния в точках на этой площади от двухосного. На рис. 7 показана геометрия об-

разца с концентраторами, на рис. 8 показано распределение первого и второго главных напряжений для такой геометрии.

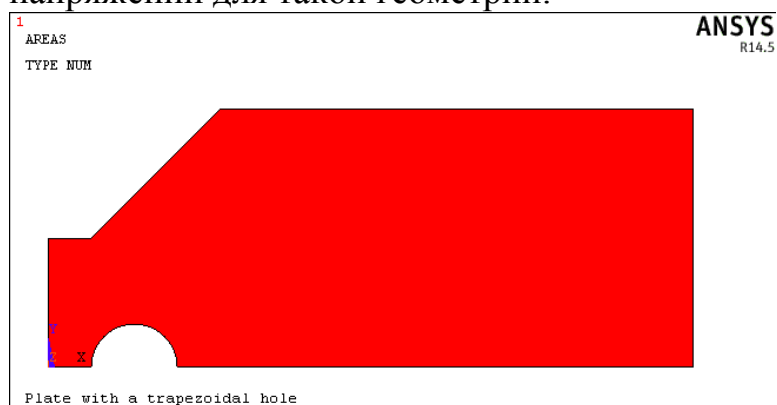


Рис. 7

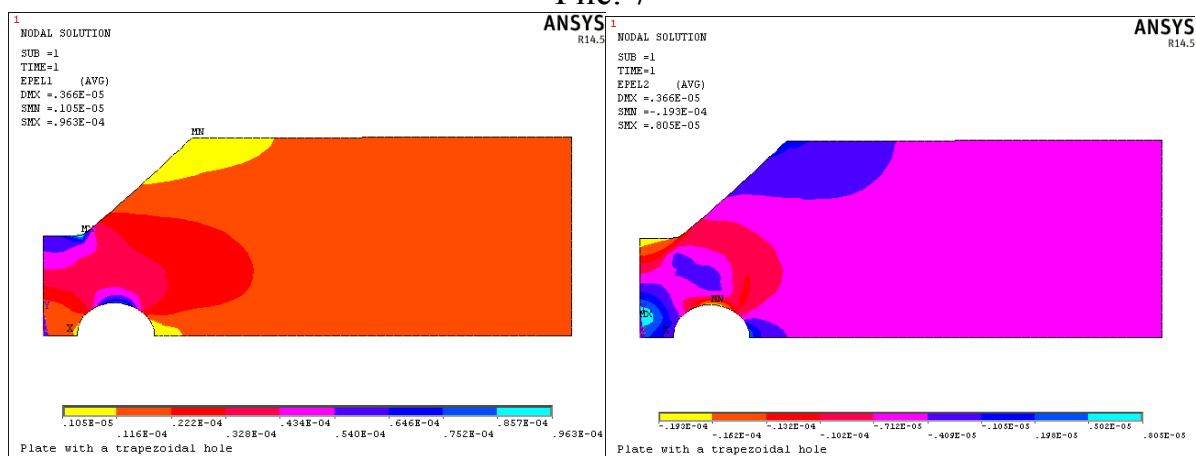


Рис. 8

Выводы. Поставленная задача является достаточно сложной, поскольку требует многократного проведения численных экспериментов, для каждого из которых требуется, ввиду качественных различий форм и параметров геометрии концентраторов, строить свою КЭ модель. Для достижения поставленных целей был предложен алгоритм и написано приложение, реализующее алгоритм решения поставленной задачи, что позволяет в автоматизированном режиме перестраивать геометрию пластины в соответствии с изменениями параметров концентраторов и производить расчет, формируя файлы результатов. Приложение дает возможность оперировать с достаточно малыми шагами изменения геометрии концентраторов (для различных форм концентраторов) и автоматизировать процесс расчета и определения напряженного состояния в центральной области образца, то есть выявлять зависимости НДС от геометрии и формы концентраторов.

При рассмотрении распределения главных напряжений в центральной области пластины было выявлено, что концентраторы круглой формы позволяют добиться необходимых условий – двухосного растяжения, при более широком наборе параметров выреза. В то же время, при достаточно малом параметре $WidL$ (ширина у «дна» концентратора) полученные результаты для трапецеидального и круглого концентраторов отличаются

мало, т.е. было выявлено, что число интересующих нас «хороших» точек (в которых наблюдается приближенно двухосное напряженное состояние) приблизительно равно. Однако, по мере увеличения величины параметра $WidL$, число таких точек для случая дугового концентратора больше, нежели для трапецеидального, т.е. концентратор дуговой формы представляет больший интерес для дальнейших исследований.

Кроме того, для выявления зависимостей распределения напряжений от параметров формы геометрии концентратора в центральной области необходимо использование более мелких шагов изменения параметров геометрии концентраторов.

Список литературы

1. *Белкин А.Е., Гаврюшин С.С.* Расчет пластин методом конечных элементов: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 232 с.
2. *Бруяка В.А.* Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие. Самара: Самарский Государственный Технический Университет, 2010, - 271 с.
3. *Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С.* ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.
4. *Нейберг Г.* Концентрация напряжений. М.: Гостехиздат, 1947, - 105 с.
Самара: Самарский Государственный Технический Университет, 2010, - 271 с.
5. *Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф.* ANSYS для инженеров: справочное пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. - 512 с.
6. *Blacker T.D., Stephenson M.B.* Paving: a new approach to automated quadrilateral mesh generation. Int. Jou. Num. Meth. Eng. 32, 1991. С. 811-847.
7. *Berto, F., Lazzarin, P., Wang, C.H.* Three-dimensional elastic distribution of stress and strain energy density ahead of V-shaped notches in plates of arbitrary thickness. Int. J. Fracture 127, 2004. С. 265–282.
8. *Lazzarin, P., Tovo, R.* A unified approach to the evaluation of linear elastic stress fields in the neighbourhood of cracks and notches. Int. J. Fract. 78, 1996. С. 3–19.

КАЧЕНИЕ ЖЕСТКОГО И УПРУГОГО ДИСКОВ ПРИ ТРЕНИИ В КОНТАКТЕ

Щербакова С.В.¹, Бобышева Г.М.²

¹студент; ²ассистент ФН5-КФ

e-mail: ¹galina-bobysheva@rambler.ru; ²midoryneko@gmail.com

Интерес к этой проблеме механики возобновился с развитием микроволновых ультразвуковых двигателей. Показывается, что принятие гипотезы Фромма о наличии "защемленной" деформации в точке входа материалов дисков в контакт, решение правильно отражает работу такого типа трансмиссии.

Ключевые слова: *защемленная деформация*

ELASTIC AND HARD DISCS ROTATION WITH CONTACT FRICTION FORCE

Sherbakova S.V.¹, Bobysheva G.M.²

¹Student; ²Assistant

e-mail: ¹galina-bobysheva@rambler.ru; ²midoryneko@gmail.com

This mechanical problem take interest with microwave engines development. We analyse it by G. Fromm gipothesis about jam deformation in first contact place. Confirmed correctness this theory and practical result.

Keywords: *jam deformation*

Интерес к этой проблеме механики возобновился в связи с развитием теории микроволновых ультразвуковых двигателей. Принцип работы этих двигателей основан на возбуждении электрическим путем бегущих упругих волн вдоль поверхности пьезокерамического генератора и передачи энергии их движения другим упругим телам, находящимся в контакте. Важно иметь теорию расчета зон сцепления и проскальзывания в области контакта, чтобы иметь возможность оценить нежелательные шумы, возникающие из-за сухого трения в зоне проскальзывания, а также возможность и способы, помогающие их уменьшить.

Важным шагом на пути решения этой проблемы является теория Герца, описывающая взаимодействие упругих тел с плавно меняющейся кри-

визной поверхности в месте контакта при нормальном сжатии, при этом трение в зоне контакта предполагается пренебрежимо малым. При учете влияния трения в зоне контакта и тангенциальных сил картина контактного взаимодействия упругих тел существенно изменится. Для тел с одинаковыми упругими свойствами распределение нормальных контактных напряжений строго соответствует теории Герца, а для тел из разнородных материалов мало отличается от эпюры Герца, однако наличие касательных напряжений приводит к разделению области контакта на зону сцепления и зону проскальзывания. Это явление впервые обнаружил О. Рейнольдс. Он экспериментально выявил зоны проскальзывания у точек входа и выхода материала из области контакта при несвободном перекачивании цилиндра из алюминия по резиновому основанию. Теоретическое обоснование открытого О. Рейнольдсом явления частичного проскальзывания в области контакта содержится в статьях Ф. Картера и Г. Фромма. В работах Фромма дано решение задачи о несвободном равномерном вращении двух идентичных дисков. Судя по всему, он ввел в рассмотрение термин «зашемленная деформация», а также выдвинул постулат об отсутствии проскальзывания в точке входа материалов дисков в область контакта. В приведенных ниже материалах конспективно изложены результаты работы Фромма.

В работах А.Ю. Ишлинского приводится инженерное исследование задачи о проскальзывании в области контакта при трении качения. Автор рассматривает случай качения жесткого диска по упругой полуплоскости, моделируя его бесконечным набором упругих вертикальных стержней, для которых связь нормальных контактных напряжений с вертикальными перемещениями устанавливается гипотезой Винклера-Циммермана, а связь касательных напряжений с горизонтальными перемещениями устанавливается аналогичной гипотезой Ишлинского. Точное решение задачи о проскальзывании при равномерном вращении предварительно сжатых дисков из различных материалов содержится в статье. В данной статье воспроизведено это решение с численным анализом.

Задача Фромма для идентичных дисков. Рассматриваемая механическая система представлена на рис. 1. Ведущим является нижний диск, а верхний диск ведомый. Валы дисков расположены на вертикальной оси и не смещаются в горизонтальном направлении. Сила прижатия дисков P_0 . Считаются заданными крутящий момент M_0 и угловая скорость вращения ω_0 ведущего нижнего диска, а также радиусы дисков R , упругие характеристики дисков G , ν и коэффициент сухого трения Амонтона-Кулона μ_0 ($\mu_0 > 0$). Хотя используется термин «диски», фактически речь идет о бесконечно длинных цилиндрах в условиях плоской деформации, а силовые характеристики рассчитываются на единицу длины цилиндров.

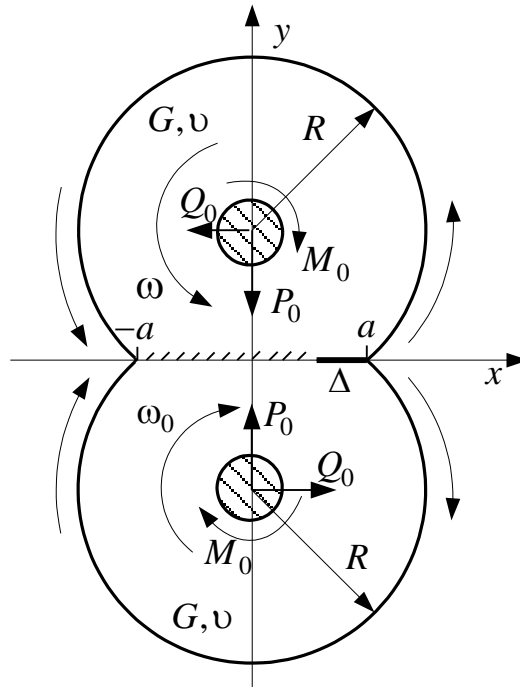


Рис. 1

В отличие от Г. Фромма, мы не будем предполагать с самого начала, что угловая скорость ведомого диска $\omega < \omega_0$, а примем его гипотезы о наличии зоны проскальзывания только у точки выхода материалов дисков из области контакта ($x = a$) и наличии «защемленной» окружной деформации ε_0 при подходе к точке $x = -a - 0$, то есть деформация $\varepsilon_0 > 0$ для верхнего диска и равна $-\varepsilon_0$ для ведущего диска. Важной особенностью, существенно упрощающей является то, что возникшая при сжатии дисков площадка контакта $[-a; a]$ не изменяет своей длины $2a$ в процессе перехода к несвободному равномерному вращению и остается симметричной относительно оси Oy .

Касательные напряжения в области контакта не оказывают влияния на распределение нормальных напряжений, которые вычисляются по формуле Герца

$$\sigma_y = -\frac{2P_0}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}. \quad (1)$$

При этом размер площадки контакта находится как

$$2a = 4 \sqrt{\frac{P_0 R}{2\pi G(1 + \nu)}}. \quad (2)$$

Очевидно, что в процессе вращения первоначально горизонтальная площадка контакта искривляется и принимает вид некоторой кривой, кососимметричной относительно точки $x = 0$.

Следовательно, задача сводится к сингулярному интегральному урав-

нению первого рода относительно касательных напряжений в области контакта. Учитывая, что в зоне проскальзывания Δ (см. рис. 1) касательные напряжения $\tau_{xy} = \mu_0 \sigma_y$, а в зоне сцепления продольная деформация $\varepsilon_x = \varepsilon_0 = \text{const}$ (верхний диск), его решение находится просто. Из этого решения следует (для верхнего диска):

1) в зоне сцепления

$$\tau_{xy} = -\mu_0 \frac{2P_0}{\pi a} \sqrt{1 + \frac{x}{a}} \left(\sqrt{1 - \frac{x}{a}} - \sqrt{1 - \frac{x+\Delta}{a}} \right) \quad (-a < x < a - \Delta). \quad (3)$$

2) в зоне проскальзывания

$$\tau_{xy} = -\mu_0 \frac{2P_0}{\pi a} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \quad (a - \Delta < x < a). \quad (4)$$

3) относительный размер зоны проскальзывания

$$\frac{\Delta}{2a} = 1 - \sqrt{1 - \frac{Q_0}{\mu_0 P_0}} \quad (5)$$

4) горизонтальная сила

$$Q_0 = \int_{-a}^a \tau_{xy} dx = \mu_0 P_0 \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta}{2a} \right)^2 \right] \quad (6)$$

5) «защемленная» деформация

$$\varepsilon_0 = \frac{2(1-\nu)}{2G} \mu_0 \frac{2P_0}{\pi a} \frac{\Delta}{2a} \quad (7)$$

При этом подтверждается изначальное предположение Г. Фромма о том, что угловая скорость ведомого диска ω будет меньше угловой скорости ведущего диска ω_0 :

$$\omega = \frac{1-\varepsilon_0}{1+\varepsilon_0} \omega_0 \approx (1 - 2\varepsilon_0) \omega_0 \quad (8)$$

Дополним исследования Г. Фромма формулами для расчета выходной мощности на валу ведомого диска и мощности потерь в зоне проскальзывания. Входная мощность на валу ведущего (нижнего на схеме) диска принимается заданной

$$N_0 = M_0 \omega_0 = Q_0 R \omega_0 = Q_0 V_0 \quad (9)$$

где $V_0 = R \omega_0$ - окружная скорость дисков. Снимаемая мощность на валу ведомого диска равна:

$$N = M \omega = Q_0 R \omega_0 (1 - 2\varepsilon_0) = N_0 (1 - 2\varepsilon_0) \quad (10)$$

Потерянная мощность в зоне проскальзывания находится по формуле

$$N_{\text{проск}} = N_0 - N = 2\varepsilon_0 N_0 = 2V_0 \frac{2(1-\nu)}{2G} (\mu_0 P_0)^2 \frac{\Delta^2}{\pi a^3} \left(1 - \frac{\Delta}{4a} \right). \quad (11)$$

Расчет потерянной мощности можно производить также по формуле

$$N_{\text{проск}} = - \int_{a-\Delta}^a \tau_{xy} V_{\text{отн}} dx \quad (12)$$

за относительную скорость проскальзывания $V_{\text{отн}}$ следует принять

произведение окружной скорости дисков V_0 на удвоенное значение разности «заземленной» деформации ε_0 и истинной деформации ε_x по формуле (9). Удвоенное значение разности следует из того, что на ведущем диске относительная скорость равна по величине ее значению на ведомом диске, но имеет противоположный знак. Отсюда находим

$$V_{\text{отн}} = 2V_0(\varepsilon_0 - \varepsilon_x) = 2V_0 \frac{2(1-\nu)}{2G} \mu_0 \frac{2P_0}{\pi a} \sqrt{\left(1 + \frac{x}{a}\right) \left[\frac{x}{a} - \left(1 - \frac{\Delta}{a}\right)\right]} \quad (13)$$

После подстановки в интеграл (12) значения τ_{xy} из (4) и записанного выше выражения для $V_{\text{отн}}$ интегрирование дает тоже значение для $N_{\text{проск}}$, что и указанное в формуле (11). По значению потерянной мощности легко установить значение силы сопротивления T при равномерном вращении сжатых дисков.

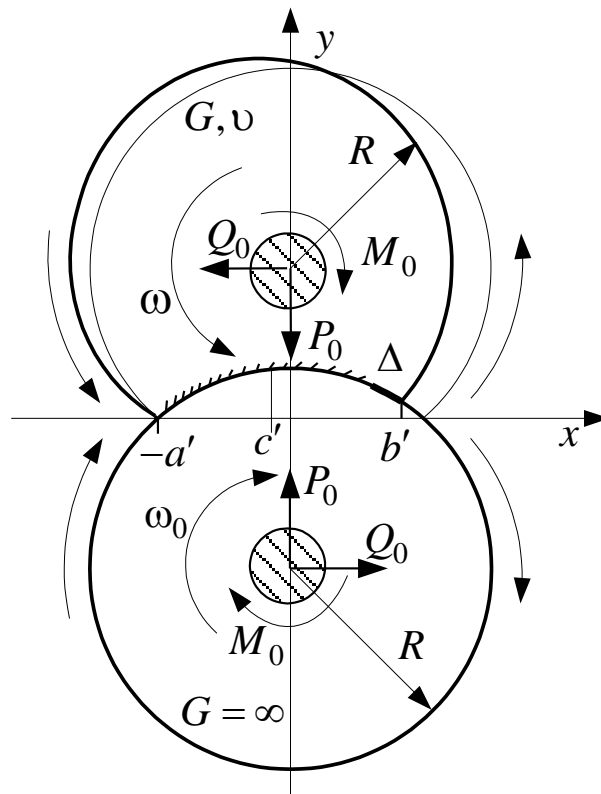


Рис. 2

2. Контакт жесткого и упругого дисков при ведущем жестком диске. На первый взгляд, постановка задачи для разнородных дисков не отличается от рассмотренной выше задачи для идентичных упругих дисков. На самом деле, между ними существует принципиальное различие (см. рис. 2). Теперь уже нельзя отделить задачу контактного сжатия дисков от деформирования ведомого упругого диска в горизонтальной плоскости. Кроме того, площадка контакта будет иметь кроме известной кривизны

также неизвестный заранее общий наклон к горизонтальной плоскости. Она становится несимметричной относительно вертикальной оси Oy (см. рис.2), смещаясь в сторону, противоположную вращению (влево), на небольшую величину c' . Заранее нельзя утверждать, что угловая скорость ведомого диска ω будет меньше угловой скорости ω_0 ведущего жесткого диска.

Игнорируя колебания значений нормальных и касательных напряжений, амплитуда которых обращается в нуль в точке $x = -a'$ набегания материала в область контакта, мы принимаем гипотезу Г. Фромма о наличии только одной зоны проскальзывания у точки $x = b'$ выхода материала упругого диска из области контакта и его гипотезу о наличии «защемленной» деформации $\varepsilon_0 = const$ у точки входа $x = -a' - 0$. Знак деформации ε_0 заранее не известен.

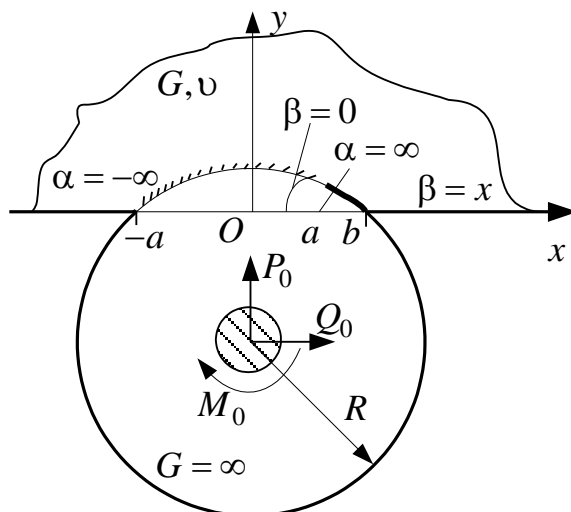


Рис. 3

По теории Герца распределение контактных напряжений и зона проскальзывания Δ (см. рис. 2) в упругом верхнем диске будут иметь те же значения, что получаются при замене диска упругой верхней полуплоскостью. Этот вывод следует из точного решения задачи о контакте упругих дисков, полученного в работе Улитко А.Ф. если прижимающие силы P_0 приложены к валам дисков и площадка контакта пренебрежимо мала по сравнению с радиусами дисков R ($a/R \approx 10^{-2} \div 10^{-3}$).

Поэтому для расчета контактных напряжений и зоны проскальзывания решение строится для верхней полуплоскости по схеме контактного взаимодействия, представленной на рис. 3. С переходом от декартовых координат x, y к биполярным α, β математическая составляющая решения контактной задачи жесткого диска с упругой полуплоскостью значительно упрощается. Общее решение для упругой полуплоскости выражается через две гармонические функции Фурье, добавляются граничные условия, что

позволяет прийти к интегральному уравнению Винера-Хопфа.

3. Пример расчета. В расчете принималось значение коэффициента Пуассона $\nu = 0,3$, а для коэффициента трения выбрано значение $\mu_0 = 0,25$. При вычислениях значения постоянных, таких как величина «защемленной» деформации, относились к безразмерному неизвестному значению a/R :

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_0 \frac{a}{R} \quad (14)$$

Предполагались также заданными прижимающая сила P_0 и сдвигающая сила Q_0 . При этом неизвестная a/R определялась по формуле:

$$\frac{a}{R} = \sqrt{-\frac{1(1-\nu)P_0}{\pi 2GRA}} \quad (15)$$

В табл. 1 приведены значения относительной зоны проскальзывания, «защемленной» деформации и относительной потерянной мощности проскальзывания.

Таблица 1

Q_0/P_0	$(b-a)/(a+b)$	$(R/a)\varepsilon_0$	$ c' /l$	$(R/a)N_{\text{проск}}/P_0$
0,01	0,1504	-0,213	0,0014	0,0011
0,01	0,4286	-0,204	0,0135	0,0269
0,15	0,5724	-0,156	0,0202	0,0709

С использованием этих данных находится выходная мощность на оси ведомого упругого вала

$$N = M\omega = (M_0 - P_0|c'|) \frac{\omega_0}{1+\varepsilon_0} \quad (16)$$

Для мощности, потерянной вследствие сухого трения в области проскальзывания, получаем значение

$$N_{\text{проск}} \approx \varepsilon_0 N_0 + P_0|c'|\omega_0 \quad (17)$$

Значения потерянной мощности, найденные по формуле (17) практически совпадают с ее величинами, вычисленными при помощи интеграла (12). За относительную скорость проскальзывания частиц упругого диска по ободу жесткого диска принималось значение $V_0(\varepsilon_0 - \varepsilon_x)$, где ε_x - окружная деформация упругого диска в области проскальзывания.

Таким образом, проанализировано точное решение задачи о несвободном равномерном вращении контактирующих жесткого и упругого дисков с использованием гипотез теории Фромма. Показано, что с принятием этих гипотез решение правильно отражает работу трансмиссии такого типа.

Список литературы

1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
2. Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики. Т2. – М.: Наука, 1986. –416 с.
3. Ишлинский А.Ю. О трении качения//Прикл. матем. и мех. 1969. Т2. С.245 – 260.
4. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. – Л.: Наука, 1967. – 420 с.
5. Нобл Б. Метод Винера –Хопфа.М.: Изд-во иностр. лит., 1989. – 280 с.

НАХОЖДЕНИЕ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Зенкина Ирина Александровна¹, Сорокин Сергей Павлович²

¹доцент, к.ф-м.н.; ²студент

e-mail: ¹nizenkin@yandex.ru; ²sorokin994@mail.ru

Задача состоит в нахождении закона движения Земли вокруг Солнца, основываясь на законе всемирного тяготения, без учета влияния других планет.

Выберем систему координат так, чтобы ее начало находилось в центре Солнца, а Земля в момент времени t движется по орбите и имеет координаты (x, y) .

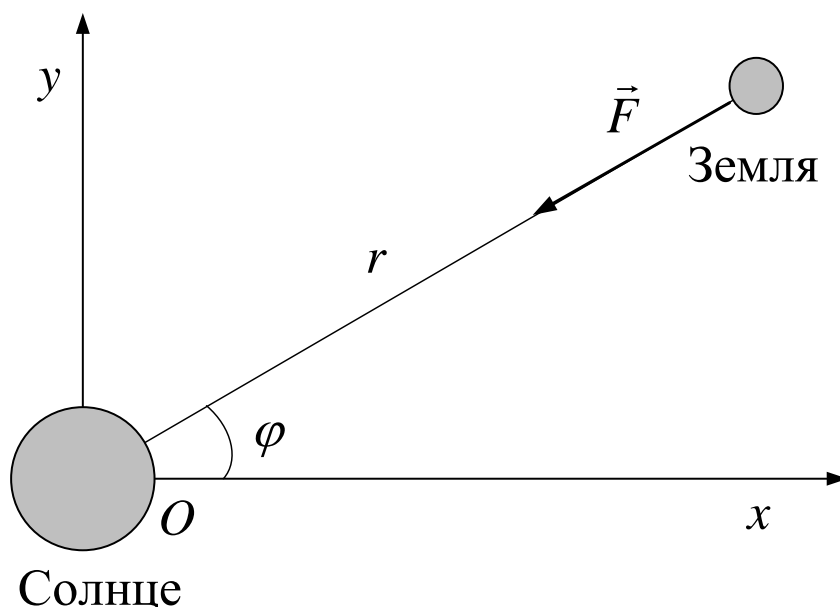


Рис. 1

На основании закона всемирного тяготения

$$F = \frac{kMm}{r^2}, \quad (1)$$

где M – масса Солнца, m – масса Земли.

Используя второй закон динамики $\vec{F} = m\vec{a}$, получаем в проекциях на оси x и y :

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = -F \cos \varphi, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -F \sin \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

После подстановки в (2) значения силы тяготения (1) получаем:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{kMm}{r^2} \cos \varphi, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{kMm}{r^2} \sin \varphi. \end{cases}$$

Так как $\sin \varphi = \frac{y}{r}$, $\cos \varphi = \frac{x}{r}$, то уравнения (2) примут вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{\mu x}{r^3}, \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{\mu y}{r^3}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\mu = kM$

Принимая во внимание, что $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, система уравнений (3) запишется в виде:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{\mu x}{(x^2 + y^2)^{3/2}}, \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{\mu y}{(x^2 + y^2)^{3/2}}. \end{cases} \quad (4)$$

Пусть при $t = 0$ Земля находится на оси абсцисс на расстоянии b от Солнца и движется в положительном направлении оси ординат со скоростью V_0 , т.е. начальные условия имеют вид:

$$t = 0; \quad x = b; \quad y = 0; \quad \frac{dx}{dt} = 0; \quad \frac{dy}{dt} = V_0. \quad (5)$$

Запишем систему уравнений (5) в полярных координатах (r, φ) .

Так как

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi, \\ y = r \sin \varphi, \end{cases}$$

то, дифференцируя эти выражения по времени, получим

$$\begin{cases} \dot{x} = \dot{r} \cos \varphi - r \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}, \\ \dot{y} = \dot{r} \sin \varphi + r \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = \ddot{r} \cos \varphi - 2\dot{r} \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} - r \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi} - r \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}^2, \\ \ddot{y} = \ddot{r} \sin \varphi + 2\dot{r} \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} + r \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi} - r \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}^2. \end{cases}$$

Таким образом,

$$\begin{cases} \ddot{x} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) \cos \varphi - (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) \sin \varphi, \\ \ddot{y} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) \sin \varphi + (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) \cos \varphi. \end{cases} \quad (6)$$

С учетом соотношений (6) система дифференциальных уравнений (4) примет вид:

$$\begin{cases} (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) \cos \varphi - (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) \sin \varphi = -\frac{\mu \cos \varphi}{r^2}, \\ (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) \sin \varphi + (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) \cos \varphi = -\frac{\mu \sin \varphi}{r^2}. \end{cases} \quad (7)$$

Умножая первое уравнение на $\sin \varphi$, а второе на $\cos \varphi$ и складывая, получаем:

$$\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 = -\frac{\mu}{r^2}. \quad (8)$$

Аналогично, умножая первое уравнение на $\sin \varphi$, а второе на $\cos \varphi$, и вычитая, получаем:

$$2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi} = 0. \quad (9)$$

Представим начальные условия (5) в полярных координатах:

$$t = 0; \quad r = b; \quad \varphi = 0; \quad \dot{r} = 0; \quad \dot{\varphi} = \frac{V_0}{b}. \quad (10)$$

Теперь необходимо решить систему дифференциальных уравнений (8), (9), удовлетворяющую начальным условиям (10).

Заметим, что левая часть уравнения (9) представляет собой выражение $\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dt}(r^2\dot{\varphi})$, тогда (9) можно заменить уравнением:

$$\frac{d}{dt}(r^2\dot{\varphi}) = 0 \quad (11)$$

или

$$r^2\dot{\varphi} = C_1. \quad (12)$$

С учетом начальных условий (10) можно найти константу C_1

$$C_1 = bV_0. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (12) принимает вид

$$r^2\dot{\varphi} = bV_0, \quad (14)$$

откуда

$$\dot{\varphi} = \frac{bV_0}{r^2}. \quad (15)$$

С учетом (15) уравнение (8) примет вид:

$$\ddot{r} = \frac{b^2 V_0^2}{r^3} - \frac{\mu}{r^2}. \quad (16)$$

Пологая $\dot{r} = p$, запишем уравнение (16) в виде

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dr} \cdot \frac{dr}{dt} = p \frac{dp}{dr} = \frac{b^2 V_0^2}{r^3} - \frac{\mu}{r^2}$$

или

$$p \frac{dp}{dr} = \frac{b^2 V_0^2}{r^3} - \frac{\mu}{r^2}. \quad (17)$$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (17), получаем

$$\frac{p^2}{2} = \frac{\mu}{r} - \frac{b^2 V_0^2}{2r^2} + C_2. \quad (18)$$

Из уравнения (18), так как $\dot{p} = \dot{r} = 0$, где $r = b$, имеем:

$$C_2 = \frac{V_0^2}{2} - \frac{\mu}{b}. \quad (19)$$

Таким образом, уравнение (18) примет вид:

$$\frac{\dot{r}^2}{2} = \frac{\mu}{r} - \frac{b^2 V_0^2}{2r^2} + \frac{V_0^2}{2} - \frac{\mu}{b},$$

Рассматривая только положительный квадратный корень, получим:

$$\frac{dr}{dt} = \sqrt{\left(V_0^2 - \frac{2\mu}{b}\right) + \frac{2\mu}{r} - \frac{bV_0^2}{r^2}}. \quad (20)$$

Отсюда можно r получить в виде функции времени t и найти положение Земли относительно Солнца в любое время. Однако значительно больший интерес представляет описание траектории Земли при ее движении. Для этого необходимо уравнение, содержащее r и φ .

Задача описывается теперь системой уравнений (20) и (15), откуда, разделив уравнение (20) на уравнение (15), получим дифференциальное уравнение, не включающее время t :

$$\frac{dr}{d\varphi} = r \sqrt{Ar^2 + 2Br - 1}, \quad (21)$$

где

$$A = \frac{1}{b^2} - \frac{2\mu}{b^3 V_0^2}; \quad B = \frac{\mu}{b^2 V_0^2}.$$

Разделяя переменные и интегрируя, получим:

$$\int \frac{dr}{r \sqrt{Ar^2 + 2Br - 1}} = \int d\varphi = \varphi + C_3. \quad (22)$$

Применяя подстановку $r = \frac{1}{u}$, $dr = -\frac{du}{u^2}$, имеем:

$$-\int \frac{du}{\sqrt{A+2Bu-u^2}} = \varphi + C_3,$$

$$-\int \frac{d(u-B)}{\sqrt{A+B^2-(u-B)^2}} = \varphi + C_3.$$

После интегрирования получаем:

$$-\arccos \frac{u-B}{\sqrt{A+B^2}} = \varphi + C_3. \quad (23)$$

Общее решение:

$$u = B + \sqrt{A+B^2} \cos(\varphi + C_3)$$

или

$$u = B[1 + \varepsilon \cos(\varphi + C_3)], \quad (24)$$

где

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{A+B^2}}{B} = \frac{b^2 V_0^2}{\mu} - 1. \quad (25)$$

Так как $u = \frac{1}{r}$, то

$$r = \frac{\frac{b^2 V_0^2}{\mu}}{1 + \varepsilon \cos(\varphi + C_3)}. \quad (26)$$

С учетом начальных условий $\varphi = 0$, $r = b$ получаем

$$b(1 + \varepsilon \cos C_3) = \frac{b^2 V_0^2}{\mu}.$$

После преобразований получаем:

$$\varepsilon \cos C_3 = \frac{b V_0^2}{\mu} - 1 = \varepsilon.$$

Далее

$$\cos C_3 = 1; \quad C_3 = 0.$$

Искомая зависимость $r = r(\varphi)$ приобретает вид:

$$r = \frac{b^2 V_0^2}{\mu(1 + \varepsilon \cos \varphi)}. \quad (27)$$

Уравнение (27) и представляет собой уравнение орбиты Земли при ее движении вокруг Солнца без учета действия других планет.

Список литературы

1. Пономарев К.К. Составление дифференциальных уравнений. – Минск: «Вышэйшая школа», 1973. – 560 с.

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Короткова В.Е.¹, Галемин Е.К.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹k5-kf@yandex.ru; ²k5-kf@yandex.ru

Дифференциальными называются планетарные механизмы, в которых освобождено опорное колесо. Число степеней свободы таких механизмов два и более. Дифференциальный механизм с двумя степенями свободы позволяет осуществлять привод ведомого звена от двух независимых двигателей (сложение движений) или привод от одного двигателя двух ведомых звеньев (разложение движений). [1] Последняя схема широко используется в приводе ведущих колес автомобиля (рис. 1).

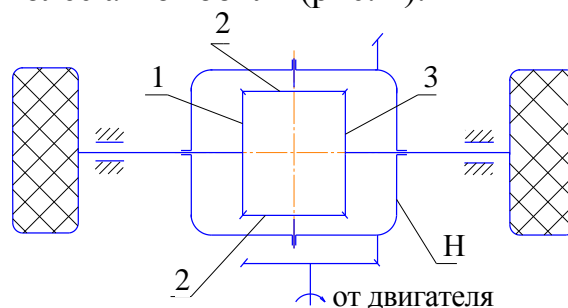


Рис. 1

Водило H получает движение от двигателя через дополнительную зубчатую передачу и вращается вокруг осей полуосевых шестерён 1 и 3. Конические сателлиты 2 вращаются вместе с водилом H и приводят во вращение шестерни 1 и 3. При движении по прямой скорости колес одинаковы ($\omega_1 = \omega_3 = \omega_H$). При движении на повороте сателлиты 2 обкатываются по шестерням 1 и 3, и угловые скорости колес различны при постоянной скорости ведущего водила. При этом скольжение колес отсутствует.

Дифференциал с двумя степенями свободы имеет три наружных соосных вала. Если два из них соединить дополнительной замыкающей передачей, то получим замкнутый дифференциальный механизм с одной степенью свободы (рис. 2). Такие механизмы имеют большие передаточные отношения при высоких значениях КПД (0.94...0.96) и применяются в грузоподъёмных, транспортных и других машинах.

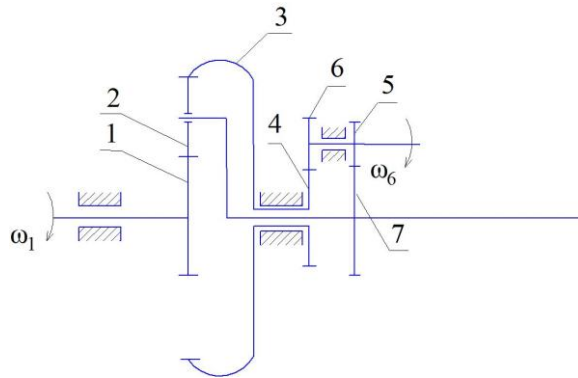


Рис. 2

Особое место в ряду дифференциальных механизмов занимает зубчатый замкнутый дифференциальный механизм с эффектом силовой адаптации к переменной нагрузке [2] (рис. 3).

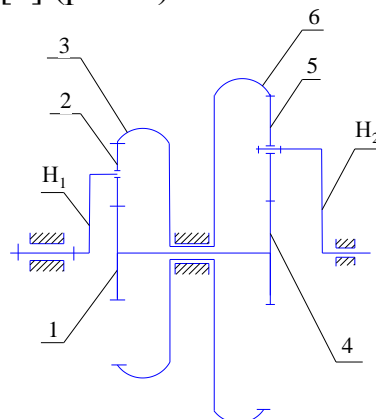


Рис. 3

Он содержит одно входное водило H_1 , замкнутый четырехзвенный контур из зубчатых колес 1, 2, 3, 4, 5, 6 и выходное водило H_2 . Проведённые исследования показали, что этот механизм с двумя степенями свободы обладает удивительным свойством создавать дополнительную дифференциальную связь. Это свойство доказано в работе [3], результат представлен уравнением

$$M_{H_1} \omega_{H_1} - M_{H_2} \omega_{H_2} = 0. \quad (1)$$

Дополнительная дифференциальная связь обеспечивает:

- 1) Превращение кинематической цепи с двумя степенями свободы в механизм с одной степенью свободы;
- 2) Эффект силовой адаптации к выходной нагрузке при заданной входной мощности $M_{H_1} \omega_{H_1}$.

Из уравнения (1) следует, что

$$\omega_{H_2} = \frac{M_{H_1} \omega_{H_1}}{M_{H_2}}, \quad (2)$$

т.е. при заданной входной мощности выходная угловая скорость находится в обратной зависимости от переменного выходного момента. Наблюдается

эффект силовой адаптации, т.е. обеспечивается бесступенчатое регулирование передачи.

Рассмотренный замкнутый дифференциальный механизм с постоянным зацеплением колес имеет высокую надежность и может быть использован для создания приводов машин с переменным передаточным отношением.

Список литературы

1. *Фролов К.В. и др.* Теория механизмов и механика машин. М., 2004.
2. *Волков И.В.* Способ автоматического и непрерывного изменения крутящего момента и скорости вращения выходного вала в зависимости от сопротивления движению и устройство для его осуществления. Описание изобретения к патенту России RU 2 234 626 от 27.03.2004.
3. *Иванов К.С.* Теорема о равновесии замкнутого контура. //Теория механизмов и машин. Периодический научно-методический журнал. №2 (16). - 2010. Том 8. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. С. 85–89.

ЗАДАЧА О РАВНОВЕСИИ И ДВИЖЕНИИ ДОСКИ, ОПИРАЮЩЕЙСЯ НА ДВА КАТКА РАЗНОГО ДИАМЕТРА

Абдурахманов Акмал Шавкатович¹, Емельянов Александр Витальевич²

¹студент гр. МХТ.Б-41; ²профессор кафедры ФН5-КФ, д.т.н.

e-mail: ¹abaksha28@gmail.com; ²abaksha28@gmail.com

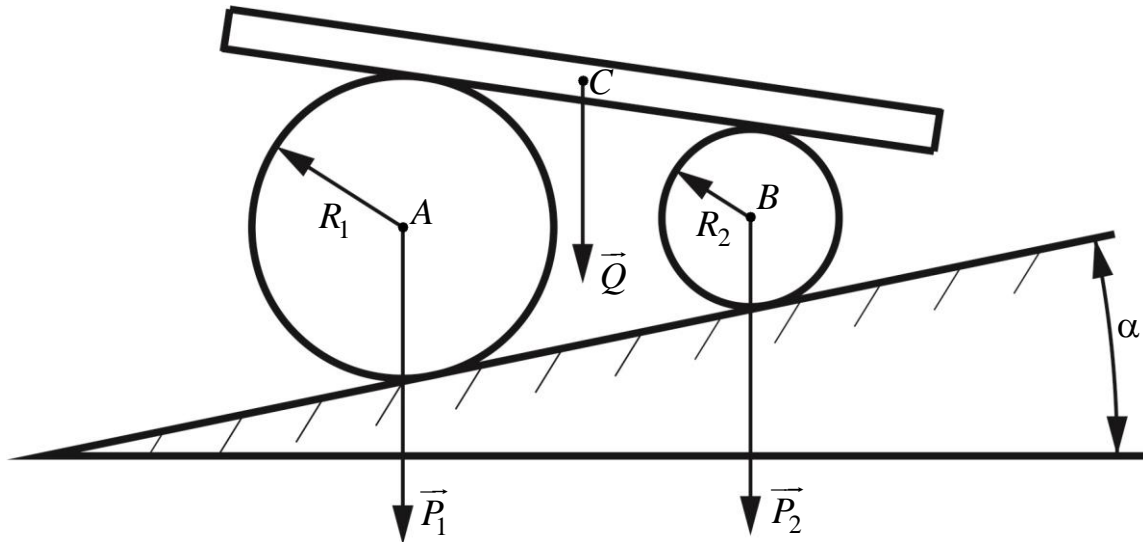


Рис.1

На рис. 1 изображена опорная плоскость, наклоненная под углом α к горизонтали. Два цилиндрических катка, больший из которых радиусом R_1 и весом P_1 , а меньший – радиусом R_2 и весом P_2 могут катиться по опорной плоскости так, что их оси ортогональны линии наибольшего наклона. На катках лежит доска весом Q , расположенная перпендикулярно осям катков. Расстояние между осями цилиндров равно l . Пренебрегая сопротивлением качению и полагая, что скольжение соприкасающихся поверхностей отсутствует, найти, при какой величине угла α система из трех тел будет находиться в равновесии.

Согласно принципу виртуальных перемещений покоящаяся механическая система с идеальными связями будет сохранять равновесие, если сумма виртуальных работ сил P_1 , P_2 и Q будет равна нулю:

$$\delta A_{P_1} + \delta A_{P_2} + \delta A_Q = 0. \quad (1)$$

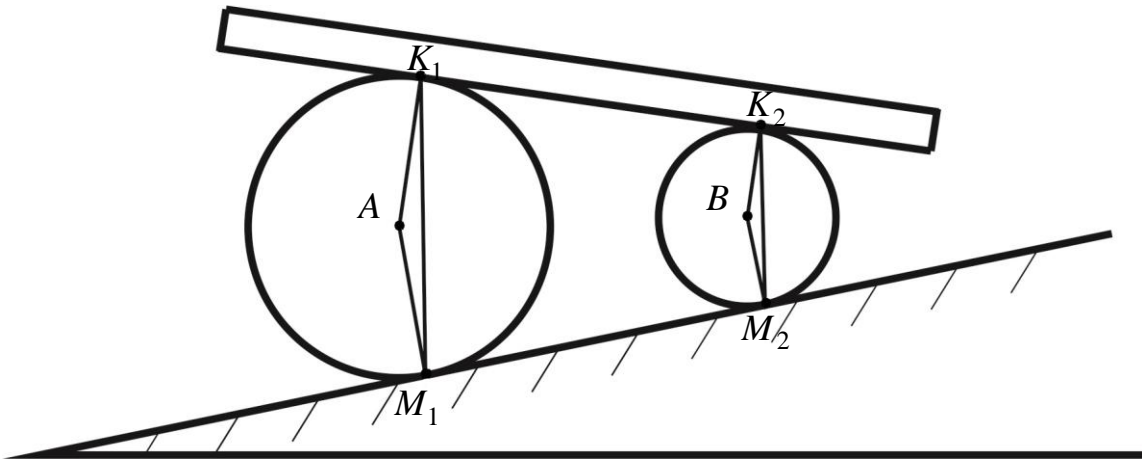


Рис.2

Пусть 2β – угол между доской и наклонной плоскостью. Соединим отрезками прямых центры катков с точками из касания с опорной плоскостью (M_1, M_2) и с доской (K_1, K_2). При движении точки M_1 и M_2 будут мгновенными центрами скоростей катков. Равнобедренные треугольники M_1AK_1 и M_2BK_2 подобны. А это значит, что доска движется поступательно, поскольку скорости точек K_1 и K_2 ортогональны линиям M_1K_1 и M_2K_2 . Из построения на рис.2 следует, что углы при основаниях треугольников M_1AK_1 и M_2BK_2 равны, ибо углы при вершинах A и B равны $2(\pi - \beta)$.

При движении системы, скорости точек K_1 и K_2 , принадлежащих доске, параллельны, поскольку они ортогональны параллельным отрезкам M_1K_1 и M_2K_2 , и равны между собой – по теореме о проекциях скоростей двух точек на ось, соединяющую эти точки.

Пусть теперь δS – виртуальное перемещение доски. Тогда виртуальные перемещения точек A и B найдутся из соотношения

$$\delta S_A = \delta S \frac{R_1}{M_1K_1} = \delta S \frac{R_1}{2R_1 \cos \beta} = \delta S \frac{1}{2 \cos \beta},$$

$$\delta S_B = \delta S \frac{R_2}{M_2K_2} = \delta S \frac{R_2}{2R_2 \cos \beta} = \delta S \frac{1}{2 \cos \beta}.$$

Если теперь учесть, что эти перемещения параллельны опорной поверхности, то суммарная виртуальная работа сил \vec{P}_1 и \vec{P}_2 (рис.1) определится так:

$$\delta A_{P_1} + \delta A_{P_2} = \frac{P_1 + P_2}{2 \cos \beta} \sin \alpha \cdot \delta S. \quad (2)$$

Этот результат соответствует движению доски вправо.

Нетрудно сообразить, что в этом случае δS доски наклонено вниз от горизонтали на угол $\beta - \alpha$, поэтому

$$\delta A_Q = -Q\delta S \sin(\beta - \alpha). \quad (3)$$

Подставив выражения (2) и (3) в уравнение (1), найдем

$$\frac{P_1 + P_2}{2\cos\beta} \sin\alpha - Q\sin(\beta - \alpha) = 0.$$

После элементарных преобразований это равенство приводится к виду

$$\frac{P_1 + P_2 + 2Q\cos^2\beta}{2\cos\beta} \sin\alpha = Q\sin\beta\cos\alpha.$$

Отсюда находим окончательное условие равновесия

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{Q\sin 2\beta}{P_1 + P_2 + 2Q\cos^2\beta}. \quad (4)$$

Понятно, что угол β вполне определяется геометрией системы, а именно

$$\sin\beta = \frac{R_1 - R_2}{l}. \quad (5)$$

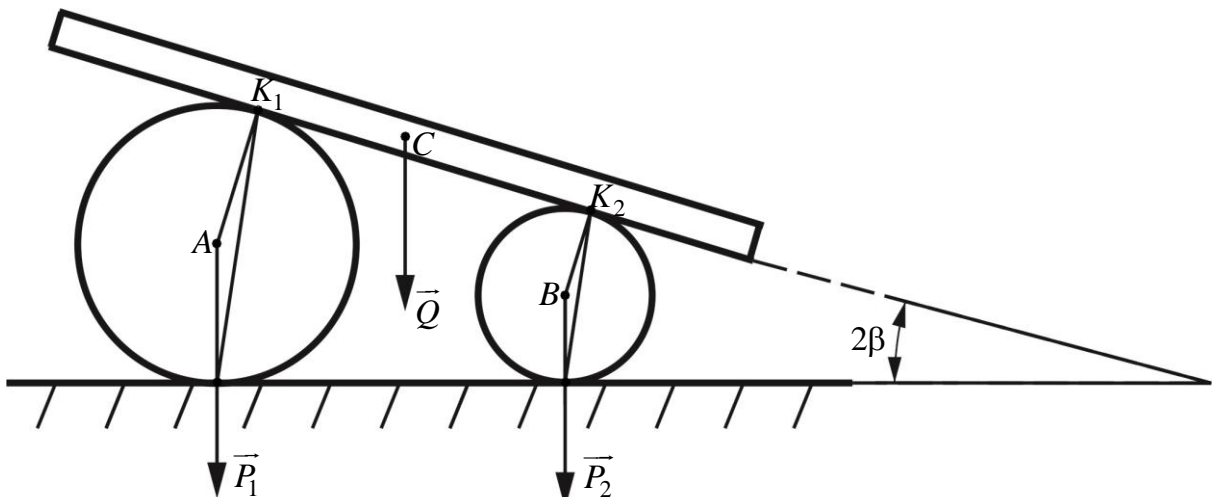


Рис.3

Найдем теперь ускорение доски при $\alpha = 0$, когда цилиндрические катки движутся по горизонтальной плоскости (рис.3). Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме

$$\frac{dT}{dt} = \sum N_K. \quad (6)$$

В левой части этого уравнения находится производная кинетической энергии механической системы (доска и оба катка) по времени; в правой части – сумма мощностей всех действующих сил. Но в данной задаче работают только силы \vec{Q} , \vec{P}_1 и \vec{P}_2 , так что уравнение (6) принимает вид

$$\frac{dT}{dt} = N_Q + N_{P_1} + N_{P_2}. \quad (7)$$

Если v – скорость доски, то её кинетическая энергия определится выражением

$$T_D = \frac{Qv^2}{2g}. \quad (8)$$

Известно, что однородный цилиндр, катящийся без скольжения, обладает энергией

$$T = \frac{3}{4}Mv_c^2, \quad (9)$$

где M – масса цилиндра, v_c – скорость его оси.

Рассуждения, аналогичные изложенным при нахождении связей δS_A и δS_B с δS , приводят к двум выводам:

1. Центры большого и малого катков движутся с одинаковой скоростью.

2. Каждая из этих скоростей определяется выражением

$$v_A = v_B = v \frac{1}{2\cos\beta}. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) позволяют выразить суммарную кинетическую энергию катков через скорость доски v

$$T_A + T_B = \frac{3}{16} \cdot \frac{P_1 + P_2}{g \cos^2\beta} v^2$$

Сложив этот результат с энергией доски (8), найдем полную кинетическую энергию системы

$$T = \frac{v^2}{16g} \left(8Q + 3 \frac{P_1 + P_2}{\cos^2\beta} \right). \quad (11)$$

В уравнении (7) мощности сил \bar{P}_1 и \bar{P}_2 равны нулю, потому что скорость точек приложения этих сил направлена по горизонтали, т.е. перпендикулярно самим силам.

Скорость доски, движущейся поступательно, наклонена вниз и составляет угол β с горизонталью, поэтому

$$N_Q = Qv \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = Qv \sin\beta. \quad (12)$$

Продифференцировав T (11) по времени, найдем

$$\frac{dT}{dt} = \frac{v \cdot a}{8g} \left(8Q + 3 \frac{P_1 + P_2}{\cos^2\beta} \right).$$

Приравняв это выражение мощности (12), после сокращения скорости v , получим

$$\frac{a}{8g} \left(8Q + 3 \frac{P_1 + P_2}{\cos^2\beta} \right) = Q \sin\beta.$$

Отсюда следует, что ускорение доски определяется выражением

$$a = g \frac{4Q \cos \beta \sin 2\beta}{3(P_1 + P_2) + 8Q \cos^2 \beta}. \quad (13)$$

Список литературы

1. *Емельянов А.В.* Введение в аналитическую механику. – Калуга: Эйдос, 2004. – 124с.
2. *Маркеев А. П.* Теоретическая механика. — М.: Наука, 1990. — 416 с.

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Тарасов Е.В.¹, Малышев А.В.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹a8608@mail.ru; ²AndreyMalyshev@outlook.com

Рассматривается метод нахождения и построения функций регрессионных моделей с применением ЭВМ для показателей надежности изделий в зависимости от времени их эксплуатации на примере фрезерования титановых сплавов.

Ключевые слова: *Приближение; зависимость; регрессионная модель*

CONSTRUCTION OF REGRESSION MODELS USING THE EXAMPLE OF COMPUTER MILLING TITANIUM ALLOYS

Tarasov E.V.¹, Malyshev A.V.²

¹Student; ²Assistant professor

e-mail: ¹a8608@mail.ru; ²AndreyMalyshev@outlook.com

We consider a method for finding and constructing functions regression models using computers for indicators of reliability of products depending on the time of their operation on an example of milling titanium alloys.

Keywords: *Approximation; dependence; regression model*

Общеизвестно, что законы природы описываются математическими зависимостями, связывающими численные значения тех или иных величин. В различных областях науки данные, обычно, представлены графиками. Таким образом, человек воспринимает функциональную зависимость. Данные полученные экспериментальным путем зачастую имеют заметный разброс величин, и поэтому их необходимо преобразовать в гладкие зависимости. Построение регрессий становится решением проблемы преобразования функций в гладкие зависимости.

Рассмотрим построение линейных и нелинейных регрессий для показателей надежности изделий в зависимости от времени их эксплуатации $\lambda(t)$, $f(t)$ и $p(t)$, с использованием программы «Простая формула» (раз-

работчик В.У. Сидыганов). Для расчета воспользуемся данными из эксперимента, проведенного на опытно-промышленной установке предназначенной для исследования процессов обработки крупных заготовок типа колец, дисков, шайб, обечаек методами фрезерования поверхностей вращения [2]. За план эксперимента принимался многофакторный эксперимент. Для компенсации влияния случайных погрешностей выполнялось равномерное дублирование опытов, для чего проводилось по 20 параллельных опытов. Варьируемыми факторами были: скорость резания V , подача на зуб (торцовый) S_z и глубина резания t . Приращение износа режущей пластины измерялось через 2 минуты работы фрезы. Отказом считалась поломка пластины, либо достижение выбранного критерия износа – 0,3 мм по задней поверхности. Величина износа режущих пластин измерялась на инструментальном микроскопе ИЦМЛ. Для расчета были взяты первые 10 отказавших лезвий твердосплавных пластин.

На основе проведённых исследований [3] формировался вариационный ряд стойкости режущих лезвий твердосплавных пластин табл. 1.

Таблица 1

Вариационный ряд стойкости режущих лезвий твердосплавных пластин

Номер режущей пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стойкость, t_i , сек	114	168	174	342	414	426	438	444	462	468

Были выполнены следующие расчёты:

1. Расчет временных интервалов:

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$$

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$$

$$\Delta t_0 = t_1 - t_0 = 114 - 0 = 114$$

$$\Delta t_1 = t_2 - t_1 = 168 - 114 = 54$$

$$\Delta t_2 = t_3 - t_2 = 174 - 168 = 6$$

$$\Delta t_3 = t_4 - t_3 = 342 - 174 = 168$$

$$\Delta t_4 = t_5 - t_4 = 414 - 342 = 72$$

$$\Delta t_5 = t_6 - t_5 = 426 - 414 = 12$$

$$\Delta t_6 = t_7 - t_6 = 438 - 426 = 12$$

$$\Delta t_7 = t_8 - t_7 = 444 - 438 = 6$$

$$\Delta t_8 = t_9 - t_8 = 462 - 468 = 18$$

$$\Delta t_9 = t_{10} - t_9 = 468 - 462 = 6$$

2. Расчет статистической оценки плотности распределения отказов:

$$f_i = \frac{\Delta r_i}{N \cdot \Delta t_i}$$

где N – количество инструментов ($N = 10$); Δr_i – количество отказов, а $i \in [0; N - 1]$

$$f_0 = \frac{\Delta r_0}{N \cdot \Delta t_0} = 0$$

$$f_1 = \frac{\Delta r_1}{N \cdot \Delta t_1} = \frac{1}{10 \cdot 54} = 0,001851852$$

$$f_2 = \frac{\Delta r_2}{N \cdot \Delta t_2} = \frac{2}{10 \cdot 6} = 0,0333333333$$

$$f_3 = \frac{\Delta r_3}{N \cdot \Delta t_3} = \frac{3}{10 \cdot 168} = 0,001785714$$

$$f_4 = \frac{\Delta r_4}{N \cdot \Delta t_4} = \frac{4}{10 \cdot 72} = 0,005555556$$

$$f_5 = \frac{\Delta r_5}{N \cdot \Delta t_5} = \frac{5}{10 \cdot 12} = 0,041666667$$

$$f_6 = \frac{\Delta r_6}{N \cdot \Delta t_6} = \frac{6}{10 \cdot 12} = 0,05$$

$$f_7 = \frac{\Delta r_7}{N \cdot \Delta t_7} = \frac{7}{10 \cdot 6} = 0,116666667$$

$$f_8 = \frac{\Delta r_8}{N \cdot \Delta t_8} = \frac{8}{10 \cdot 18} = 0,044444444$$

$$f_9 = \frac{\Delta r_9}{N \cdot \Delta t_9} = \frac{9}{10 \cdot 6} = 0,15$$

3. Расчет интенсивности отказов:

$$\lambda_i = \frac{\Delta r_i}{(N - r_i) \cdot \Delta t_i}$$

где N – количество инструментов ($N = 10$); Δr_i – количество отказов, а $i \in [0; N - 1]$;

$$r_i = \sum_{i=1}^i \Delta r_i - \text{число отказавших объектов}$$

$$\lambda_0 = \frac{\Delta r_0}{(N - r_0) \cdot \Delta t_0} = 0$$

$$\lambda_1 = \frac{\Delta r_1}{(N - r_1) \cdot \Delta t_1} = \frac{1}{(10 - 1) \cdot 54} = 0,002057613$$

$$\lambda_2 = \frac{\Delta r_2}{(N - r_2) \cdot \Delta t_2} = \frac{2}{(10 - 2) \cdot 6} = 0,041666667$$

$$\lambda_3 = \frac{\Delta r_3}{(N - r_3) \cdot \Delta t_3} = \frac{3}{(10 - 3) \cdot 168} = 0,00255102$$

$$\lambda_4 = \frac{\Delta r_4}{(N - r_4) \cdot \Delta t_4} = \frac{4}{(10 - 4) \cdot 72} = 0,009259259$$

$$\lambda_5 = \frac{\Delta r_5}{(N - r_5) \cdot \Delta t_5} = \frac{5}{(10 - 5) \cdot 12} = 0,083333333$$

$$\lambda_6 = \frac{\Delta r_6}{(N - r_6) \cdot \Delta t_6} = \frac{6}{(10 - 6) \cdot 12} = 0,125$$

$$\lambda_7 = \frac{\Delta r_7}{(N - r_7) \cdot \Delta t_7} = \frac{7}{(10 - 7) \cdot 6} = 0,388888889$$

$$\lambda_8 = \frac{\Delta r_8}{(N - r_8) \cdot \Delta t_8} = \frac{8}{(10 - 8) \cdot 18} = 0,222222222$$

$$\lambda_9 = \frac{\Delta r_9}{(N - r_9) \cdot \Delta t_9} = \frac{9}{(10 - 9) \cdot 6} = 1,5$$

4. Расчет функции надежности:

$$p_i = 1 - \binom{r_i}{N}$$

где $r_i = \sum_{i=1}^i \Delta r_i$ – число отказавших объектов; N – количество инструментов

($N = 10$)

$$p_0 = 1 - \binom{r_0}{N} = 1 - \binom{0}{10} = 1$$

$$p_1 = 1 - \binom{r_1}{N} = 1 - \binom{1}{10} = 0,9$$

$$p_2 = 1 - \binom{r_2}{N} = 1 - \binom{2}{10} = 0,8$$

$$p_3 = 1 - \binom{r_3}{N} = 1 - \binom{3}{10} = 0,7$$

$$p_4 = 1 - \binom{r_4}{N} = 1 - \binom{4}{10} = 0,6$$

$$p_5 = 1 - \binom{r_5}{N} = 1 - \binom{5}{10} = 0,5$$

$$p_6 = 1 - \left(\frac{r_6}{N}\right) = 1 - \left(\frac{6}{10}\right) = 0,4$$

$$p_7 = 1 - \left(\frac{r_7}{N}\right) = 1 - \left(\frac{7}{10}\right) = 0,3$$

$$p_8 = 1 - \left(\frac{r_8}{N}\right) = 1 - \left(\frac{8}{10}\right) = 0,2$$

$$p_9 = 1 - \left(\frac{r_9}{N}\right) = 1 - \left(\frac{9}{10}\right) = 0,1$$

$$p_{10} = 1 - \left(\frac{r_{10}}{N}\right) = 1 - \left(\frac{10}{10}\right) = 0$$

Проверку выполненных расчетов можно осуществить по следующим формулам:

$$1. \lambda_i = \frac{f_i}{p_i}$$

$$\lambda_0 = \frac{f_0}{p_0} = 0$$

$$\lambda_1 = \frac{f_1}{p_1} = \frac{0,001851852}{0,9} = 0,002057613$$

$$\lambda_2 = \frac{f_2}{p_2} = \frac{0,033333333}{0,8} = 0,041666667$$

$$\lambda_3 = \frac{f_3}{p_3} = \frac{0,001785714}{0,7} = 0,00255102$$

$$\lambda_4 = \frac{f_4}{p_4} = \frac{0,005555556}{0,6} = 0,009259259$$

$$\lambda_5 = \frac{f_5}{p_5} = \frac{0,041666667}{0,5} = 0,083333334$$

$$\lambda_6 = \frac{f_6}{p_6} = \frac{0,05}{0,4} = 0,125$$

$$\lambda_7 = \frac{f_7}{p_7} = \frac{0,116666667}{0,3} = 0,388888889$$

$$\lambda_8 = \frac{f_8}{p_8} = \frac{0,044444444}{0,2} = 0,222222222$$

$$\lambda_9 = \frac{f_9}{p_9} = \frac{0,15}{0,1} = 1,5$$

$$2. \lambda_i \cdot p_i - f_i = 0$$

$$\begin{aligned}
\lambda_0 \cdot p_0 - f_0 &= 0 \\
\lambda_1 \cdot p_1 - f_1 &= 0,002057613 \cdot 0,9 - 0,001851852 = 0 \\
\lambda_2 \cdot p_2 - f_2 &= 0,041666667 \cdot 0,8 - 0,033333333 = 0 \\
\lambda_3 \cdot p_3 - f_3 &= 0,00255102 \cdot 0,7 - 0,001785714 = 0 \\
\lambda_4 \cdot p_4 - f_4 &= 0,009259259 \cdot 0,6 - 0,005555556 = 0 \\
\lambda_5 \cdot p_5 - f_5 &= 0,083333333 \cdot 0,5 - 0,041666667 = 0 \\
\lambda_6 \cdot p_6 - f_6 &= 0,125 \cdot 0,4 - 0,05 = 0 \\
\lambda_7 \cdot p_7 - f_7 &= 0,388888889 \cdot 0,3 - 0,116666667 = 0 \\
\lambda_8 \cdot p_8 - f_8 &= 0,222222222 \cdot 0,2 - 0,044444444 = 0 \\
\lambda_9 \cdot p_9 - f_9 &= 1,5 \cdot 0,1 - 0,15 = 0
\end{aligned}$$

Далее по полученным результатам строим графики $\lambda(t)$, $f(t)$ и $p(t)$

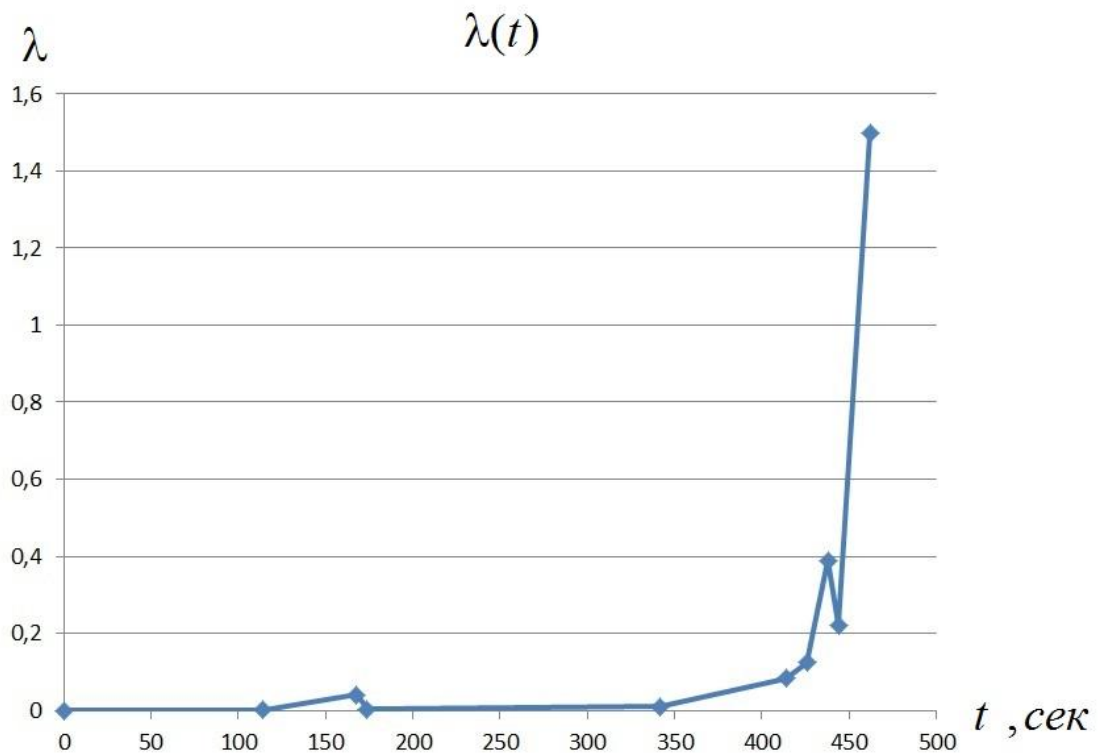


Рис.1 График зависимости интенсивности отказов от времени

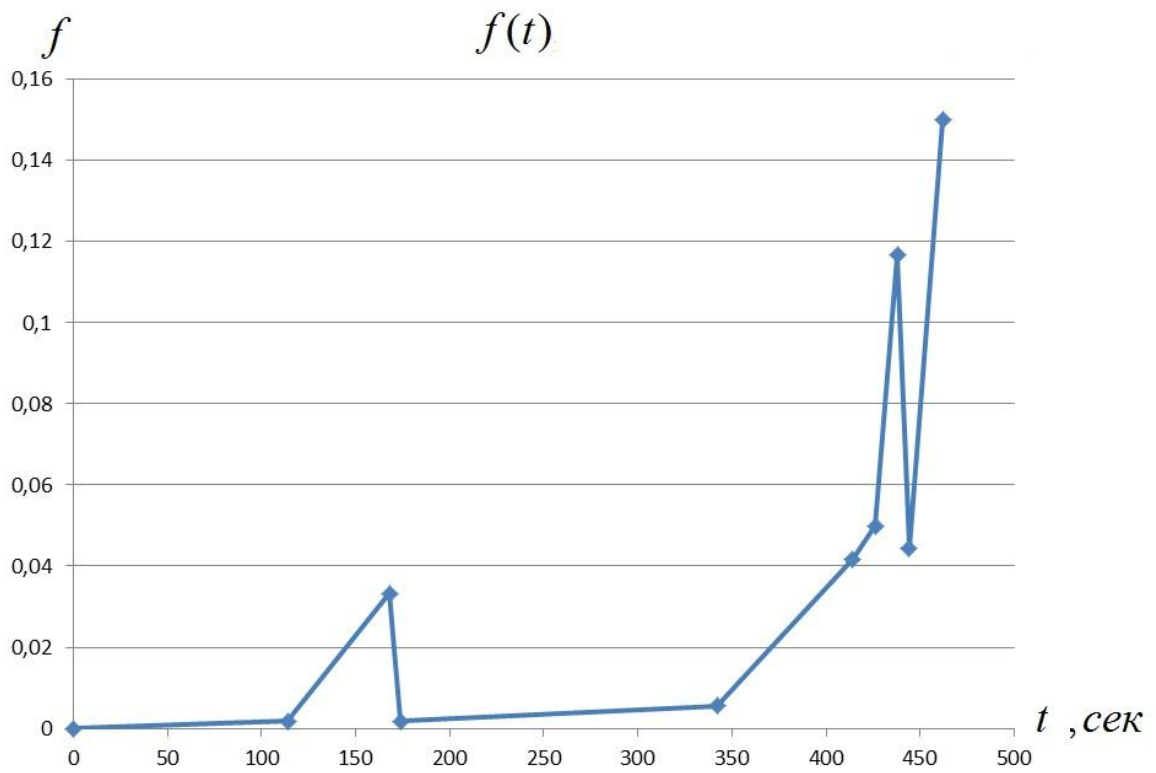


Рис.2 График зависимости плотности распределения отказов от времени

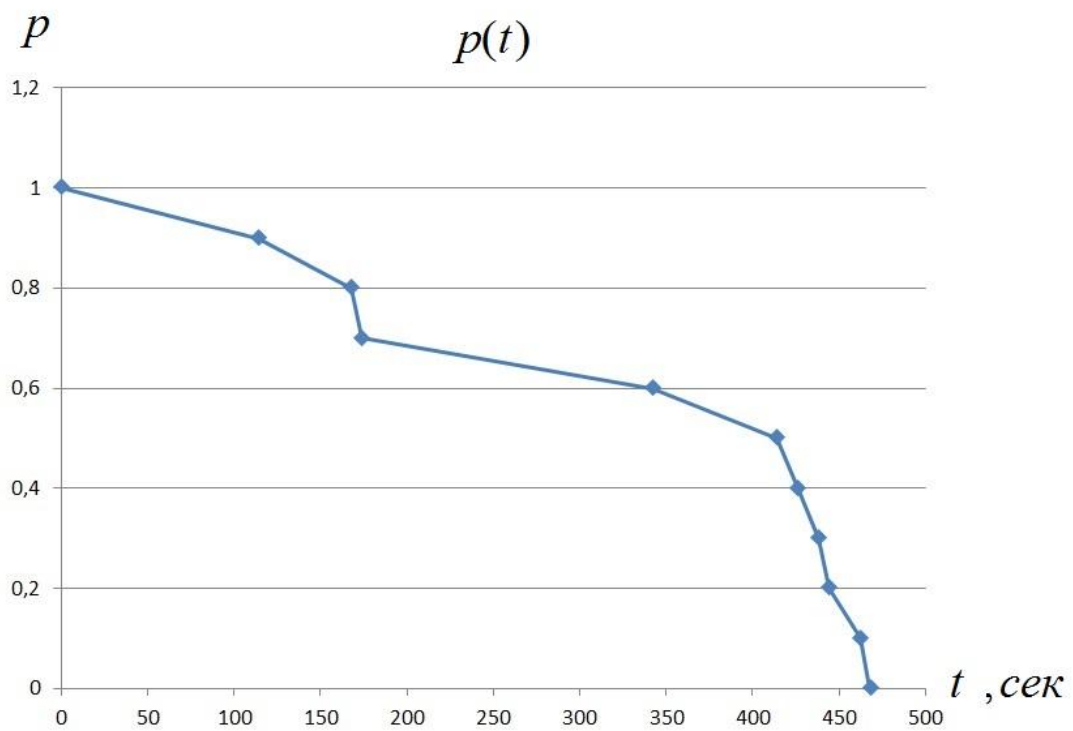


Рис.3 График зависимости функции надежности от времени

С помощью программы «Простая формула» получаем функции линейных и нелинейных регрессий вида $y = k \cdot t + b$ и $y = \frac{1}{k \cdot t + b}$ для зависимостей $\lambda(t)$, $f(t)$ и $p(t)$.

Рекомендуемые функции программой «Простая формула» для зависимости $\lambda(t)$:

$y = 0,0013845 \cdot t - 0,17535$ – линейная регрессия (макс. откл. $1,0357$)

$y = \frac{1}{-0,090444 \cdot t + 42,452}$ – нелинейная регрессия (макс. откл. $-213,55 \cdot 10^{-3}$)

Рекомендуемые функции программой «Простая формула» для зависимости $f(t)$:

$y = 0,00021183 \cdot t - 0,018637$ – линейная регрессия (макс. откл. $70,772 \cdot 10^{-3}$)

$y = \frac{1}{-0,10107 \cdot t + 53,428}$ – нелинейная регрессия (макс. откл. $-72,449 \cdot 10^{-3}$)

Рекомендуемые функции программой «Простая формула» для зависимости $p(t)$:

$y = -0,0018423 \cdot t + 1,0778$ – линейная регрессия (макс. откл. $-215,61 \cdot 10^{-3}$)

$y = \frac{1}{0,002407 \cdot t + 0,93681}$ – нелинейная регрессия (макс. откл. $-484,67 \cdot 10^{-3}$)

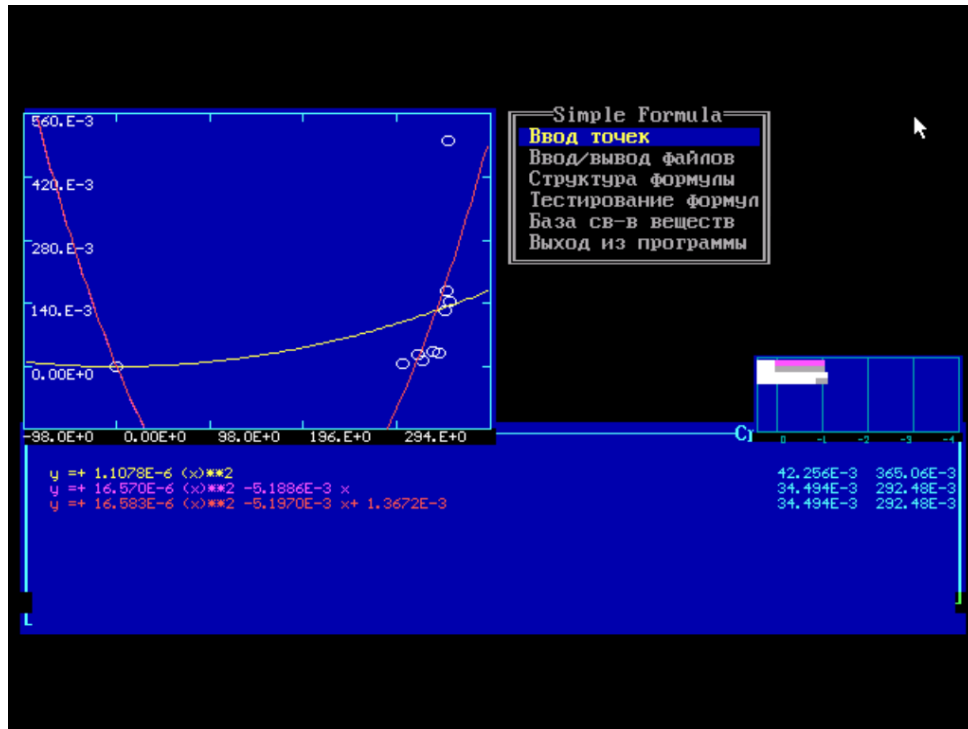


Рис.4 Рабочее окно программы «Простая формула»

На основании полученных функций регрессии строим графики $\lambda(t)$, $f(t)$ и $p(t)$.

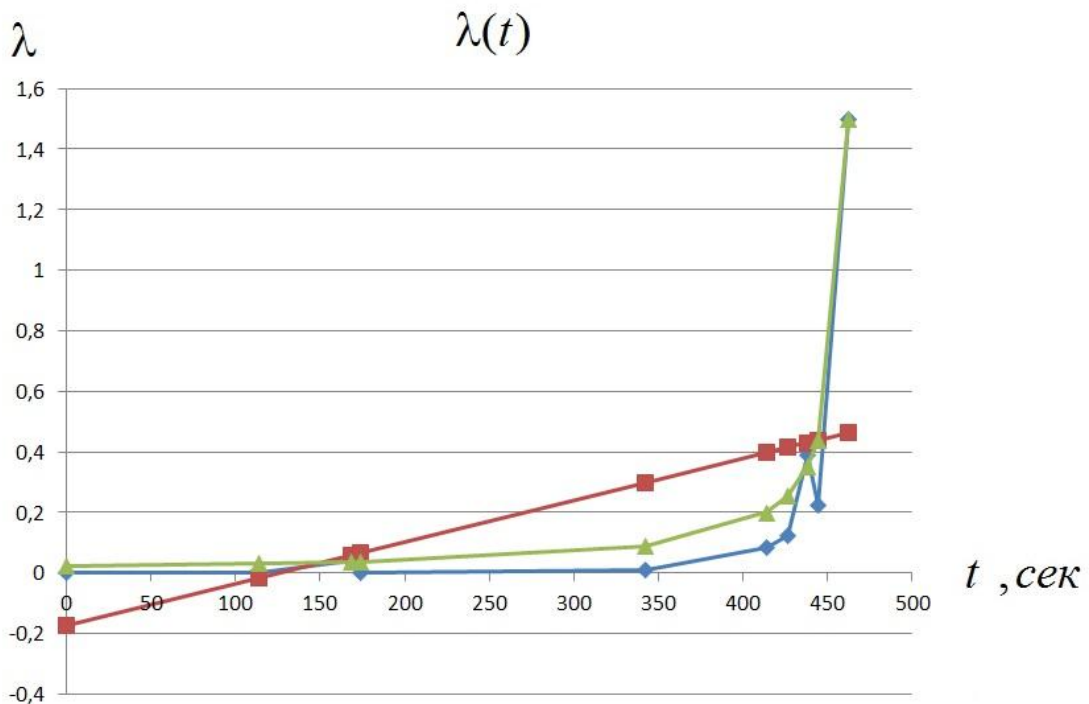


Рис.5 График зависимости интенсивности отказов от времени с линейной и нелинейной регрессией

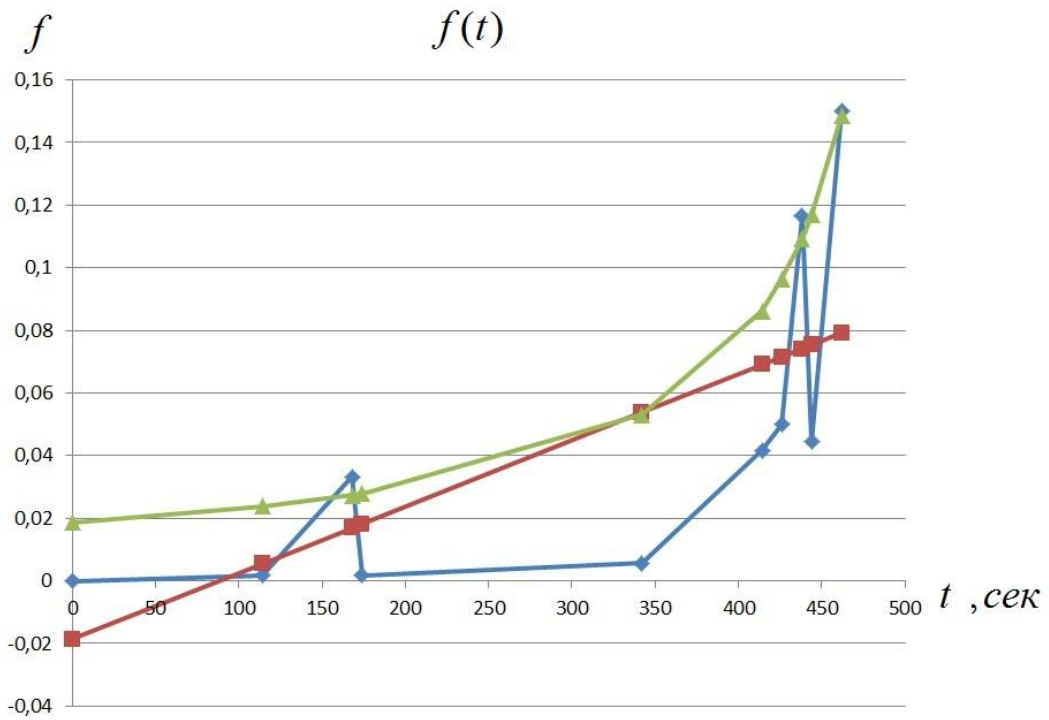


Рис.6 График зависимости плотности распределения отказов от времени с линейной и нелинейной регрессией

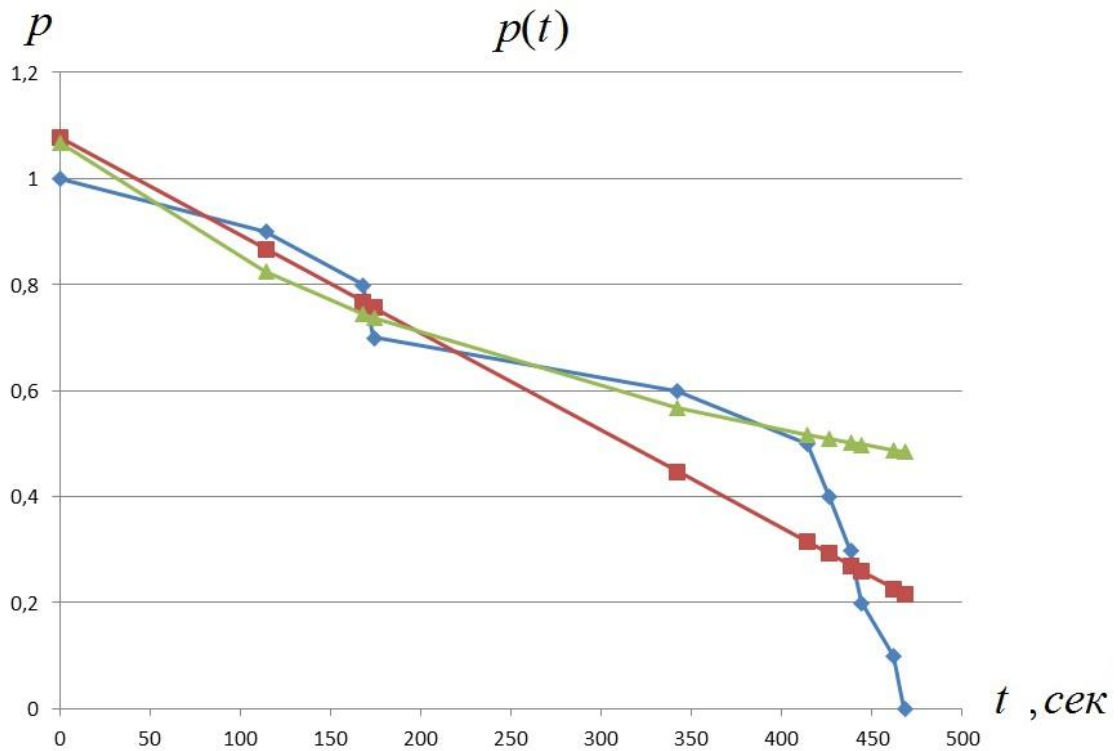


Рис.7 График зависимости функции надежности от времени с линейной и нелинейной регрессией

Построение регрессионных моделей – задача не простая, но выполнимая.

В настоящее время существует много математических пакетов, с помощью которых можно это осуществить, выбирая их под конкретную задачу.

Список литературы

1. *П.Г. Кацев* Статистические методы исследования режущего инструмента. М., Машиностроение, 1974.
2. *Созинов А.И., Малышев А.В., Шайкин П.В.* Надёжность режущего инструмента при обработке титановых заготовок на автоматизированном оборудовании // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении. – М: Изд-во МГТУ, 2006. – С. 35 - 36.
3. *Малышев А.В.* Организация производства деталей опорно-поворотных устройств из титановых сплавов на предприятиях радиоэлектронной промышленности.: Дис. канд. техн. наук. – М., 2009. – 181 с.
4. *Корнейчук Н.П., Лигун А.А., Доронин В.Г.* Аппроксимация с ограничениями. – Киев : Наукова думка, 1982. – 252 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА НОРМАЛЬНОГО ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ КРУПНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

Липихин Е.Г.¹, Малышев А.В.²

¹студент; ²доцент, к.т.н.

e-mail: ¹Evgeny.Lipihin@yandex.ru; ²AndreyMalyshev@outlook.com

В статье рассмотрены результаты применения закона нормального логарифмического распределения для прогнозирования времени работы твердосплавных режущих пластин на основе экспериментальных опытных данных. Целью статьи является оценка о согласованности теоретического закона и эмпирических результатов при описании физического процесса износа режущей кромки инструмента.

Ключевые слова: Безотказная работа, стойкость инструмента, отказ

THE APPLICATION OF THE LAW LOGARITHMIC NORMAL DISTRIBUTION FOR THE EVALUATION OF THE DURABILITY OF THE CUTTING TOOL AT THE EDGE TREATMENT OF LARGE-RING PREPARATIONS

Lipihin E.G.¹, Malishev A.V.²

¹Student; ²Assistant professor

e-mail: ¹Evgeny.Lipihin@yandex.ru; ²AndreyMalyshev@outlook.com

In the article the results of application of the law of the logarithmic normal distribution for forecasting time work carbide cutting inserts on the basis of experimental experimental data. The aim of the article is to assess consistency of theoretical law and empirical results in the description of the physical process of wear of the cutting edge of the tool.

Keywords: Uptime and tool life, failure

Целью данной работы является определение времени безотказной работы. Для оценки стойкости партии выбран нормальный логарифмический закон.

Методы математической статистики тесно связаны с разработкой системы контроля качества в промышленности. Главным достоинством использования теоретических расчетов заключается в экономии средств при решении технических задач.

Одной из задач рационального использования инструментов и оборудования является расчет времени гарантийной работы. При этом появляется проблема выбора математической модели для описания процесса износа.

Так как проверить все партию инструмента не представляется возможным, то пользуются данными, полученными при проверке ограниченной выборки, например, режущих пластин. При этом, применяемые законы распределения случайной величины не могут описать все факторы природы сложных процессов, поэтому расхождение расчета с опытными данными очень частое явление. Важным моментом при математических расчетах является выбор наиболее подходящего закона распределения случайной величины

Был проведен эксперимент по исследованию времени работы твердосплавных режущих пластин в количестве 20 штук

На основе опытных данных строится таблица 1, в которую занесено время выхода из строя режущей сменной многогранной режущей пластины (СМП).

Таблица 1
Ранжированный ряд стойкости СМП

Номер режущей пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стойкость, T_i , мин	1,9	2,8	2,9	5,7	6,91	7,12	7,28	7,43	7,66	7,83
Номер режущей пластины	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Стойкость, T_i , мин	8	8,31	8,43	8,68	8,98	9,03	9,21	9,46	9,63	10,5

Плотность вероятности имеет вид:

$$f(T) = \frac{0,4343}{T \cdot s \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(\lg T - \bar{u})^2}{s}} \quad (1)$$

Найдем величины $u_i = \lg T_i$, которые приведем в таблицу 2

Таблица 2

Параметр логарифмического распределения

Номер режущей пластины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
u_i	0,28	0,45	0,46	0,76	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
Номер режущей пластины	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
u_i	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	1,02

Характерная величина \bar{u} :

$$\bar{u} = \frac{\sum u_i}{N} \quad (2)$$

Где N=20-число испытанных пластин.

$$\bar{u} = \frac{16,691}{20} = 0,8345$$

Дисперсия s:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (u_i - \bar{u})^2} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{20-1} \cdot 0,7671} = 0,2$$

Плотность вероятности примет вид:

$$f(T) = \frac{0,4343}{T_i \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} e^{-\frac{(\lg T_i - 0,83)^2}{0,2}}$$

Функция распределения:

$$F(T) = \Phi\left(\frac{\lg T_i - 0,83}{0,2}\right) \quad (4)$$

Рассчитаем надежность режущих пластин или время безотказной работы с вероятностью P=0,9:

$$P(T) = 1 - F(T) = \Phi\left(\frac{0,83 - \lg T}{0,2}\right) = 0,9 \quad (5)$$

По таблица функции Лапласа находим значение $\Phi(x)=0,9$ при $x=1,28$:

$$x = \frac{\bar{u} - \lg T}{s}$$

Подставляя в выражение найденные величины, получим:

$$1,28 = \frac{0,8375 - \lg T}{0,2}$$

Время безотказной работы режущей пластины:

$$\lg T_{0,9} = -1,28 \cdot 0,2 + 0,837 = 0,581$$

$T = 3,8$ мин.

Накопленные частоты в логарифмических координатах (Рис.1) по данным таблицы 2 имеют вид:

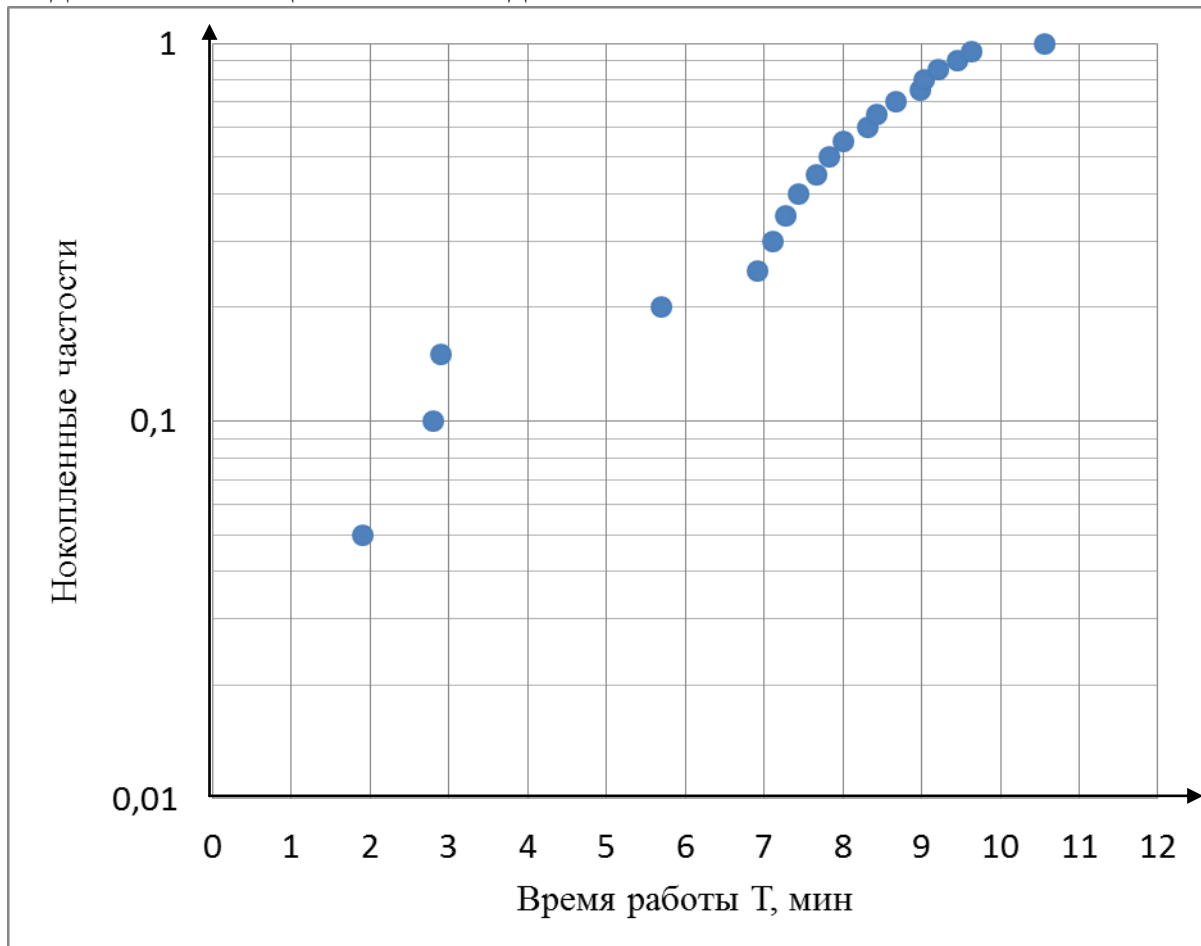


Рис.1 – Накопленные относительные частоты времени отказов

Проверим допущение о нормальном логарифмическом распределении времени отказа твердосплавных пластин в количестве 20 шт с помощью W-критерия согласия для логарифмического нормального распределения:

$$W = \frac{b^2}{s_u^2} = \frac{\left[\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (u_{n-i+1} - u_i) \right]^2}{\sum_{l=1}^n u_l^2 - \frac{\left(\sum_{l=1}^{20} u_l \right)^2}{n}} \quad (6)$$

Где u_i - десятичный логарифм i -го наблюдения, а значения a_i определяется по таблице X, [3].

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} = \frac{16,69}{20} = 0,8345$$

$$s_u^2 = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \quad (7)$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^{20} (u_i - 0,834)^2 = 0,767$$

Так как число наблюдений $n=20$, то параметр $k = \frac{n}{2} = \frac{20}{2} = 10$, согласно работе [3].

Параметр b :

$$b = a_n(u_n - u_1) + \dots + a_{n-k+1}(u_{n-k+1} - u_k) = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1}(u_{n-i+1} - u_i) \quad (8)$$

$$b = 0,4743 \cdot (1,02 - 0,28) + \dots + 0,0140 \cdot (0,9 - 0,89) = 0,739$$

Где значения a_{n-i+1} для $i=1, \dots, k$ определяются из таблицы X [3].

Критерий согласия W :

$$W = \frac{b^2}{s^2}$$

$$W = \frac{0,739^2}{0,767} = 0,928$$

Приближенная вероятность получения вычисленного значения W при допущении о нормальном логарифмическом распределении случайной величины находится как

$$z = \gamma + \eta \ln\left(\frac{W - \varepsilon}{1 - W}\right) = -5,153 + 1,802 \cdot \ln\left(\frac{0,928 - 0,2359}{1 - 0,928}\right) = -1,075$$

Где значения γ, η и ε берутся из таблицы XI работы [3].

По значению z находим искомую вероятность $P(z < -1,075) = 0,85$

Сравниваем вычисленное значение W со значениями критерия из таблицы XI [3] при $n=20$.

Рассчитанный для данного случая критерий W имеет значение выше табличного $W = 0,92$ для 10% вероятности нормального распределения выборки, следовательно, вероятность того, что характер распределения время отказов распределено по нормальному логарифмическому закону составляет всего около 10%.

Количество временных интервалов по формуле Стерджеса
 $l = (1 + 3.322 \lg n) = 5$

По результатам эксперимента построена гистограмма количества отказов на протяжении времени работы (Рис.2), которая имеет вид:

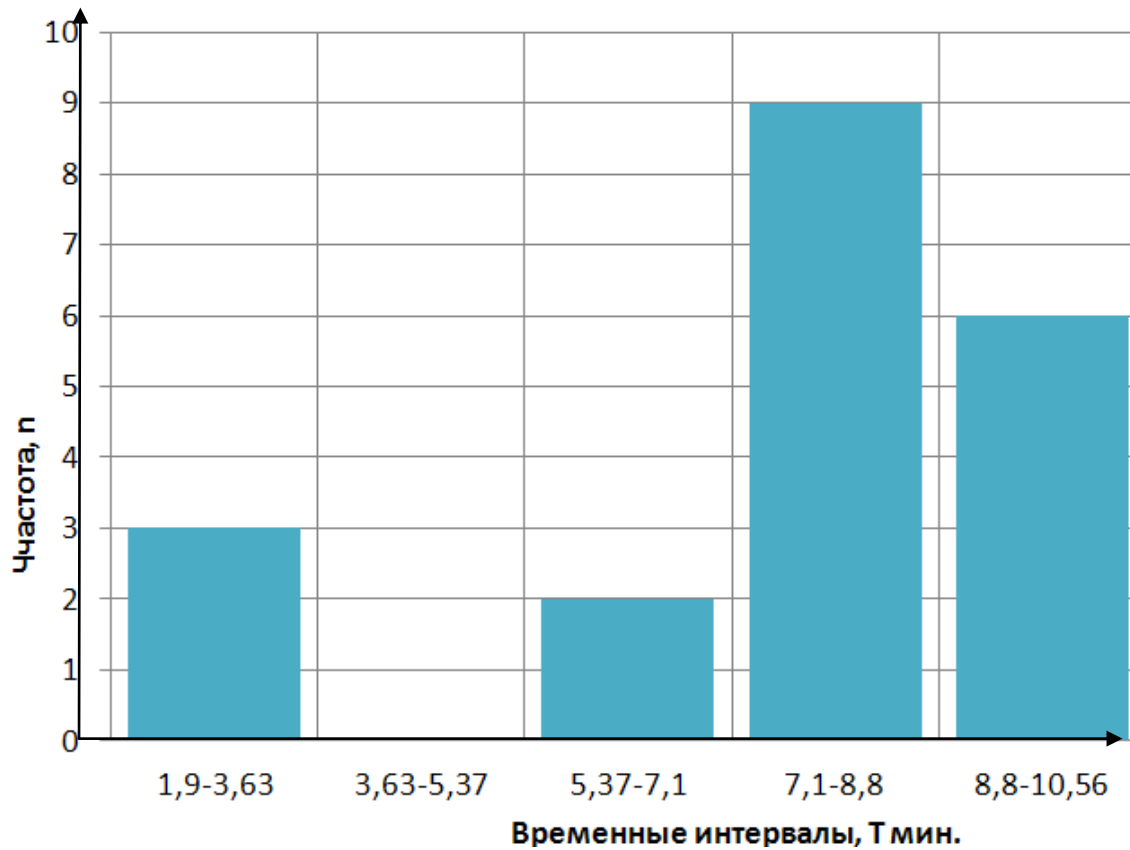


Рис 2. – Гистограмма: количество отказов

Размах выборки:

$$R_T = T_{max} - T_{min} = 10,56 - 1,9 = 8,66 \text{ мин}$$

Длина временных интервалов:

$$h = \frac{R_T}{l} = \frac{8,66}{5} = 1,732 \text{ мин}$$

Таблица 2

Построение гистограммы частоты отказов

№	границы интервала	середина	частота отказов n_i	частость	накопленная частость
1	[1,9-3,63]	2,76	3	0,15	0,15
2	[3,63-5,37]	4,5	0	0	0,15
3	[5,37-7,1]	6,23	2	0,1	0,25
4	[7,1-8,8]	7,95	9	0,45	0,7
5	[8,8-10,56]	9,68	6	0,3	1,0

По значениям $f(t)$ строится график (Рис. 3) плотности вероятности логарифмического распределения.

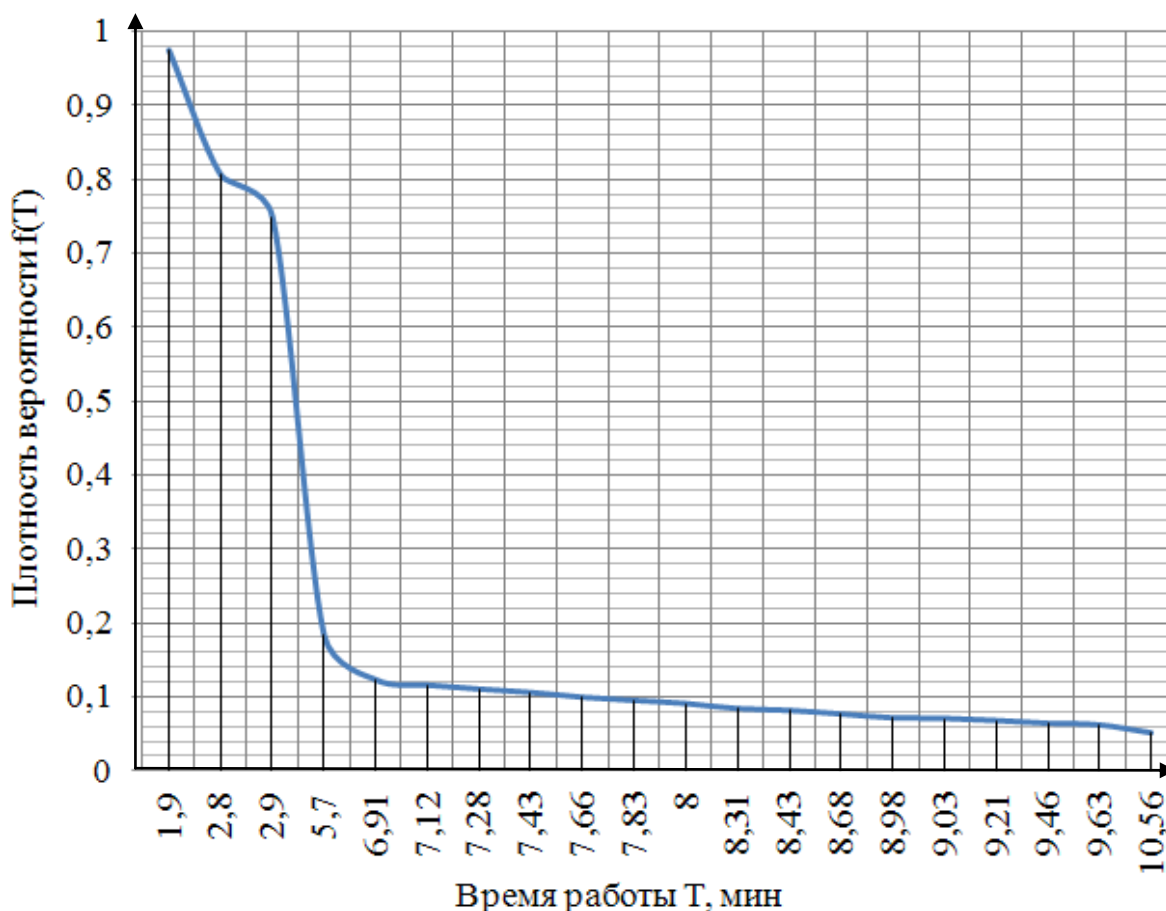


Рис. 3 – Распределение плотности вероятности

Время работы режущего инструмента по рассмотренному методу составляет $T=3,8$ мин., что меньше чем при использовании закона распределения Вейбулла-Гнеденко $T=4,34$ мин. в работе [1]. Причем по критерию согласия W имеется малая вероятность совпадения расчета с моделью. На основании работ [1], [2], [3], [6] делается вывод о том, что нормальный логарифмический закон дает иные результаты, а именно меньшее время гарантированной стойкости. Следовательно, его применение не подходит для описания процесса износа твердосплавных пластин.

Заключение: По проведенным расчетам делается вывод о том, что гипотеза о нормальном логарифмическом распределении для выборки испытуемых изделий опровергается, следовательно, для определения характера отказов необходимо рассмотреть более подходящий закон распределения Вейбулла-Гнеденко, который является более согласованным с данными эксперимента.

Список литературы

1. *Мальшев А.В.* Организация производства деталей опорно-поворотных устройств из титановых сплавов на предприятиях радиоэлектронной промышленности.: Дис. канд. техн. наук. – М., 2009. – 181 с.
2. *П.Г. Кацев* Статистические методы исследования режущего инструмента. М., Машиностроение, 1974. – 235 с.
3. *Шапиро С., Хан Г.* Статистические модели в инженерных задачах. – М: Изд-во Мир 1969. – 388 с.
4. *А.И. Орлов* Математика случая Вероятность и статистика - основные факты. – МЗ-Пресс 2004.
5. *Созинов А.И., Мальшев А.В., Шайкин П.В.* Надёжность режущего инструмента при обработке титановых заготовок на автоматизированном оборудовании // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении. – М: Изд-во МГТУ, 2006. – С. 35 - 36.
6. *Марин В.П., Третьяков П.Г., Мальшев А.В.* Исследование износа режущего инструмента и прогнозирование его стойкости в автоматизированном производстве// Научные технологии. 2014.Т.15.№2. С. 27-31

СЕКЦИЯ 17.

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ НИР
В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

ОПТИМАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОМПАС ДЛЯ СОЗДАНИЯ УЧЕБНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Сулина Ольга Владимировна¹, Романова Елена Игоревна²

¹доцент, к.т.н.; ²студент группы ПТМ.И- 22

e-mail: ¹sulina.olga@yandex.ru; ²elenochka_17@mail.ru

Для эффективного и интенсивного изучения системы КОМПАС необходима оптимальная настройка интерфейса программы и сервисных функций. Настройка системы позволяет изменить огромное количество параметров, существенно влияющих на работу программы. Оптимальная настройка параметров определяется следующими показателями: эффективность использования в конкретной предметной деятельности, скорость, практичность, низкая частота ошибок, легкость освоения и использования, субъективное удовольствие, комфортность и удобство работы.

Системные настройки программы КОМПАС как чертежно–графического редактора дифференцируются по следующим назначениям: системные, новые документы, текущий документ и текущее окно. Системные настройки являются общими для всей системы, а некоторые относятся к определенным видам документов. Настройка новых документов осуществляется отдельно по каждому виду документа: текстовый документ, графический документ и т.д. Каждый из видов имеет свой набор настроек, которые будут выполняться по умолчанию в каждом вновь созданном документе. Настройки текущих документов будут действовать только в созданном документе и зависят от выбора типа документа: текущий чертеж, текущий фрагмент и т.д. Настройки текущего окна включают в себя настройки сетки и линейки прокрутки документа.

Нашей целью является не рассмотрение перечня всех возможных параметров настроек системы, а рассмотрение наиболее значимых и актуальных параметров с учетом специфики лабораторных и практических работ по инженерной графике.

Для работы нескольких пользователей на одном компьютере при выполнении лабораторных работ одним из важных аспектов является настройка резервного копирования, т.е. желательно установить сохранение зеркальной копии. Каждый раз при сохранении документа он будет одновременно сохраняться и в другой папке с повышенной надежностью (например, в папке преподавателя). Для сохранения результатов при различных сбоях (аппаратные ошибки компьютера и т.д.) предлагается настроить автосохранение каждые 5 мин. При выполнении контрольных заданий обучающейся часто сохраняет свою работу по умолчанию, поэтому в заголовке окна желательно настроить отображение пути к созданному файлу.

Для выполнения глобальных привязок и выбора элементов мышью, близко расположенных друг к другу предлагается уменьшить размер стандартного курсора, а также сделать его инверсивным для изменения цвета в зависимости от цвета объекта, на который он указывает. Это позволит не потерять курсор, например в области заливки.

Для сохранения и восстановления настроек интерфейса и параметров системы КОМПАС необходимо создать свой профиль – это структура данных, описывающих все настройки системы, он хранится в файле с расширением PFL. Стандартные настройки системы (профиль msad), созданные разработчиками, размещаются в папке Profiles. При работе нескольких пользователей на одном компьютере (лабораторный практикум) желательно настроить запрещение сохранения конфигураций после оптимальной их настройки администратором.

Настройка интерфейса системы КОМПАС имеет следующие возможности изменения внешнего вида программы: выбор стиля; изменение состава, расположения команд или разделов, отображения пунктов главного меню; изменение состава и расположения панелей, создание пользовательских панелей, установление разделителей групп команд; изменение состава компактной панели, создание собственной компактной панели; редактирование свойств кнопок; назначение сочетаний клавиш для различных команд; вызов утилит.

При создании учебных чертежей студентам приходится часто обращаться к текстам некоторых ГОСТов, учебникам по инженерной графике, справочникам и т.д., поэтому создание кнопок запуска этих документов можно поместить в интерфейс (рис. 1), например, в состав группы работы с документами в меню – файл. Возможно подключение файлов *.exe, *.com, *.bat, *.pdf.

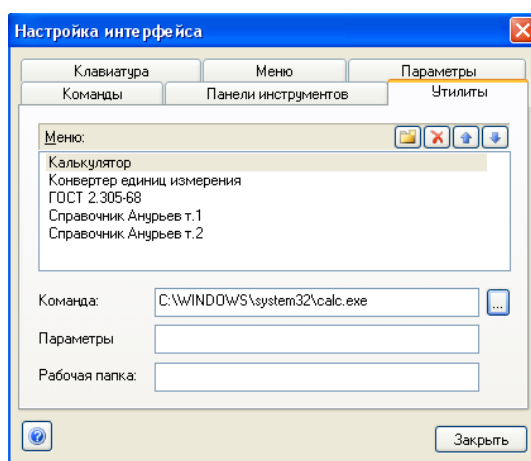


Рис. 1

Настройка клавиш быстрого вызова команд или горячих клавиш позволяет пользоваться многими функциями без перевода курсора к нужной кнопке. По умолчанию уже создано немало комбинаций. После построения или редактирования геометрического объекта (указания всех требуемых

параметров) создается фантом, система требует подтверждения создания объекта (команда создать объект), а выход из команды аннулирует все действия над геометрическим объектом, поэтому предлагается настроить для команды создать объект горячую клавишу Enter.

Компактная инструментальная панель, можно сказать, является визитной карточкой КОМПАС: основные инструментальные панели сгруппированы в один элемент, содержащий кнопки переключения между ними. Инструментальная панель обозначения для строительного промышленного проектирования не используется для создания учебных чертежей, поэтому ее предлагается удалить из компактной панели.

При создании изображений на чертеже необходимо следить за текущим состоянием системы, например какой вид текущий, какой слой текущий; создавать новые виды, редактировать их параметры. Команды выделения, создания и редактирования видов по умолчанию находятся в меню и на различных панелях (выделение, ассоциативные виды), поэтому предлагается объединить эти команды в панель вид (рис. 2).

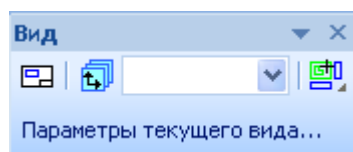


Рис. 2

Некоторые панели содержат не используемые или редко используемые команды, например стандартная панель, содержит большое количество не используемых команд (рис. 3), поэтому ее можно упростить (рис. 4).



Рис. 3

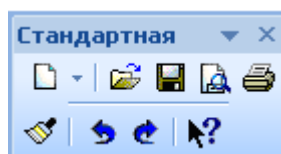


Рис. 4

Загрузка нужного фрагмента из библиотеки включает в себя загрузку менеджера библиотек, поиск и выбор библиотеки, выбор нужного фрагмента библиотеки и указание его параметров. Чтобы ускорить процесс обращения можно вынести востребованные фрагменты библиотеки на инструментальные панели, например, панель крепежных элементов (рис. 5) и компактную панель конструктивных элементов (рис. 6).

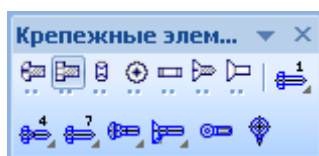


Рис. 5

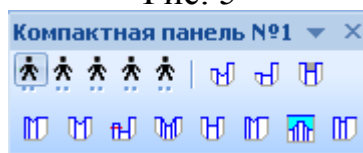


Рис. 6

При работе в программе КОМПАС мы выбираем команду из меню или инструментальной панели и задаем параметры для ее выполнения. Поиск команды занимает значительное количество времени, поэтому количество и содержание инструментальных панелей, вид отображения кнопки вызова команды влияют на интенсивность выполнения лабораторных работ. Кнопка вызова команды может быть представлена иконкой, текстовой надписью и их комбинацией (рис. 7). Для команд, не входящих в компактную панель, но часто используемых можно настроить тип отображения с иконкой и текстовой надписью.



Рис. 7

Можно нарисовать собственную иконку для команд, не имеющих ее, например, для команды удалить вспомогательные кривые и точки (рис. 8).



Рис. 8

Вид приложения вряд ли может сильно повлиять на удобство или скорость работы в программе, поэтому рационально отключить показ этого диалога при запуске.

Таким образом, мы постарались охватить важные аспекты настройки системы КОМПАС для эффективного выполнения лабораторных работ по инженерной графике и создания учебных чертежей.

Список литературы

1. *Большаков В. П., Тозик В. Т., Чагина А. В.* Инженерная и компьютерная графика. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 288 с.
2. *Зыков О.* КОМПАС-3D: все возможности интерфейса, или что такое usability CAD-системы // САПР и графика. — 2005. — №9. — С.22–26.
3. *Копылов Ю. Р.* Компьютерные технологии в машиностроении (практикум). — Воронеж: ООО Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2012. — 507 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ОТРАЖЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖЕ

Логвинов Александр Андреевич¹, Коренвайн Наталья Павловна²

¹Студент; ²Старший преподаватель

e-mail: ¹paradoksme@yandex.ru; ²m3kf@bmstu-kaluga.ru

На чертежах общих видов и сборочных чертежах допускается помещать специальные технологические указания, если они являются единственными, гарантирующими качество изделия. Если при сборке деталей выполняются дополнительная обработка их совместно с другими деталями, то сведения об этой обработке отражаются на сборочном чертеже. Рассмотрим некоторые примеры таких технологических указаний.

Конический клапан (рис.1) завальцован в конец шпинделя с зазором, позволяющим центрироваться конусу клапана относительно перекрываемого отверстия и свободно вращаться относительно шпинделя. Соединение – неразъемное, на сборочном чертеже допускается помещать технологические требования: «Завальцевать при сборке».

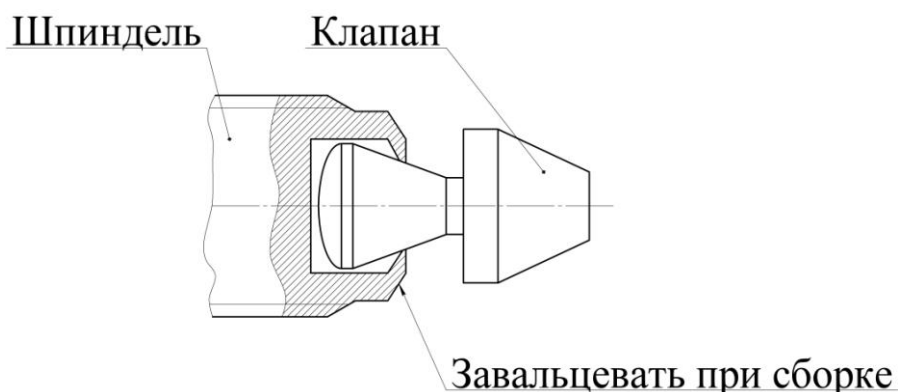


Рис. 1. Шарнирное крепление клапана в шпинделе

В процессе сборки некоторых деталей выполняются так называемые пригоночные операции, т.е. совместная обработка соединяемых деталей или подгонка одной детали к другой по месту установки. В таких случаях на сборочных чертежах делают соответствующие надписи (рис. 2 а,б,в,г,д,е).

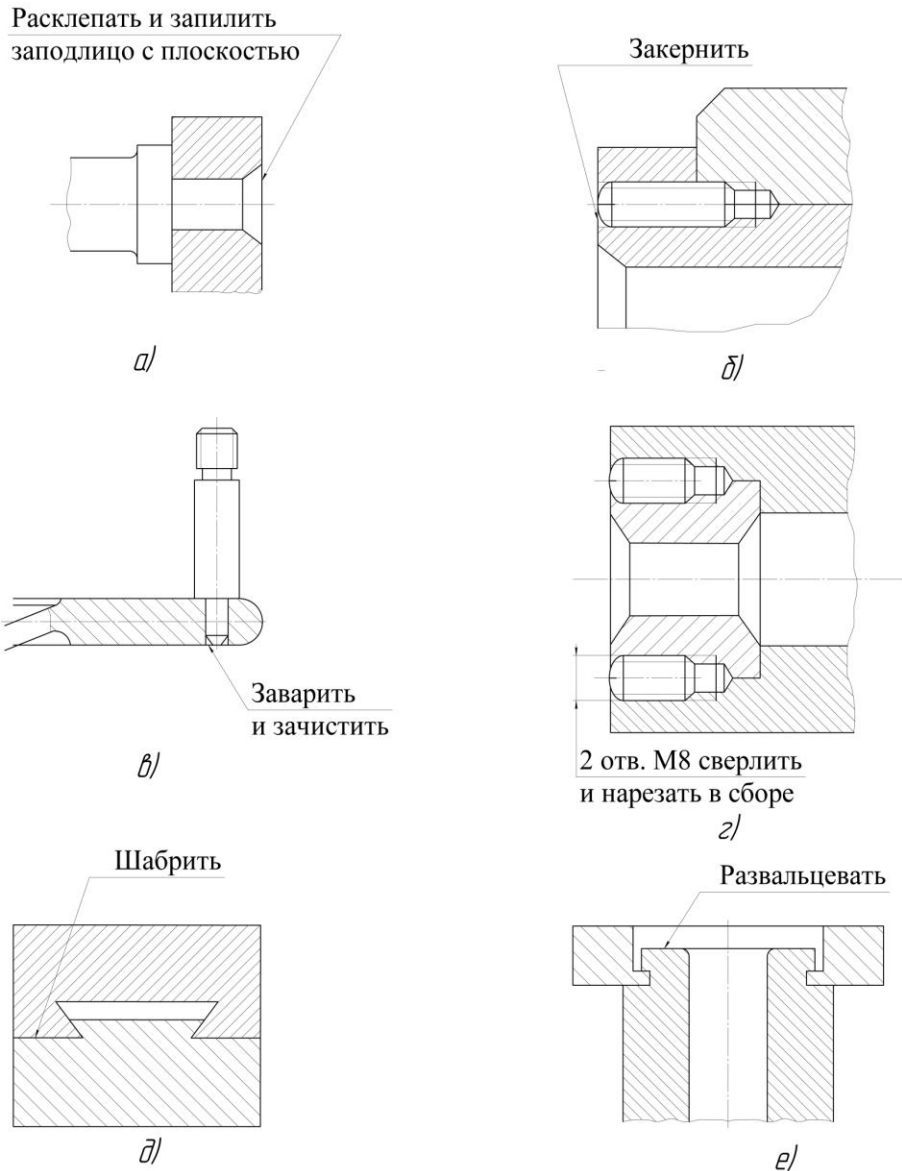


Рис. 2. Специальные технологические указания на сборочных чертежах

Если деталь при сборке вставляется в соответствующее отверстие, например, втулки (рис. 3а и 4а) или вал (рис. 3б), то на торце детали и в отверстии должна быть фаска. Аналогичная фаска выполняется и в отверстии, предназначенном для этой детали. Эти фаски облегчают процесс сборки.

Внутри корпуса (рис. 3а) необработанная поверхность А (характерным признаком её на чертеже являются скругленные углы) выполняется больше диаметра запрессованных втулок. Это позволяет упростить и ускорить обработку отверстий под втулки.

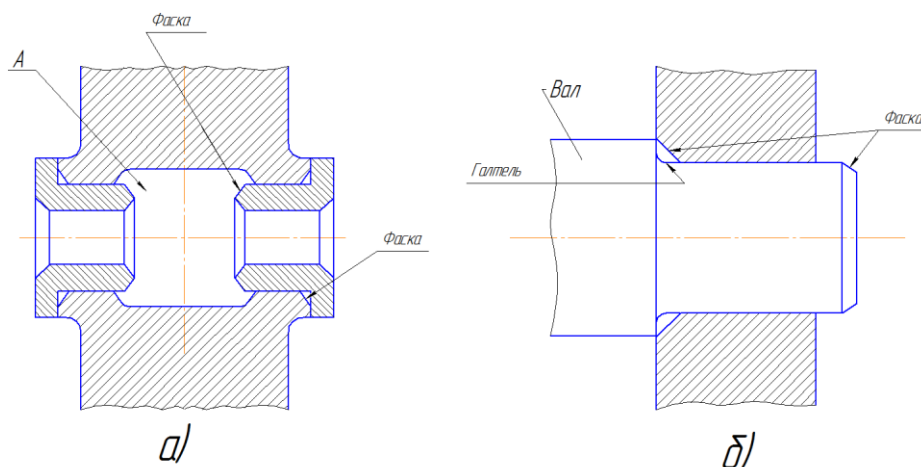


Рис. 3. Технологические фаски и галтель для облегчения сборки

На ступенчатых валах и осях в месте перехода от одной ступени вала (с меньшим диаметром) к другой его ступени (с большим диаметром) обычно выполняется галтель (скругление), которая повышает прочность вала, снижая в этом месте концентрацию напряжений (рис. 3б). Если галтель расположена внутри отверстия, то величина фаски должна быть такой, чтобы она не соприкасалась с галтелью.

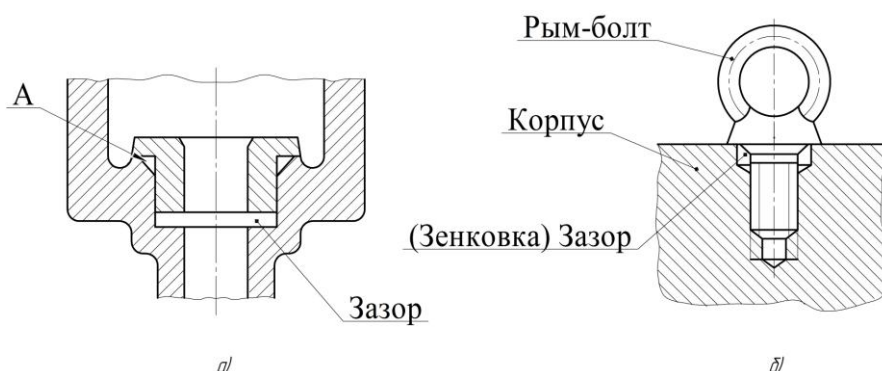


Рис. 4. Технологические зазор и зенковка для плотного крепления деталей

Во избежание перекоса и обеспечения плотности прилегания две детали должны соприкасаться друг с другом только одной торцевой поверхностью (А на рис. 4а), что гарантируется наличием соответствующего зазора, исключающего соприкосновение деталей по какой либо поверхности.

Для того чтобы недорез резьбы рым-болта (рис. 4б) не препятствовал завертыванию его до упора заплечиком в корпус, часть отверстия в корпусе выполняют без резьбы (зенковка резьбового отверстия), чем обеспечивается свободный вход недореза резьбы рым-болта в корпус.[1]

Список литературы

1. Боголюбов С.К. Инженерная графика: Учебник для средних специальных учебных заведений. – 3^е изд., исправлено и дополнено – М.: Машиностроение, 2000. – С.352 : ил.

ГРАФИЧЕСКИЙ ДИЗАЙН НЕКОММЕРЧЕСКИХ САЙТОВ

Сломинская Елена Николаевна¹, Силаков Игорь Сергеевич²

¹доцент, к.т.н.; ²студент

e-mail: ¹m3kf@bmstu-kaluga.ru; ²kaluganin514@gmail.com

С каждым днем растет число сайтов в сети Интернет. Немалую долю всех сайтов составляют так называемые некоммерческие сайты, то есть сайты, принадлежащие органам власти, учебным заведениям, социальным учреждениям. Такие ресурсы носят информационный характер. Вторичной ставится задача обратной связи.

Разработка некоммерческого сайта – задача не менее сложная, чем изготовление корпоративного проекта коммерческой организации.

В рамках спонсорской помощи кафедрой «Инженерная графика» был разработан сайт для государственного учреждения ГБУ КО СРЦ «Детство»: <http://www.detstvo-centr.ru>, на его примере мы посмотрим на особенности. На его примере продемонстрируем особенности графического оформления.

Существует стандартная структура веб-сайта. Сайт состоит из следующих структурных элементов:

- логотипа организации [Рис. 1];
-



Рис. 1

- меню (горизонтальное, вертикальное, либо комбинация двух) [Рис. 2, 3];
-

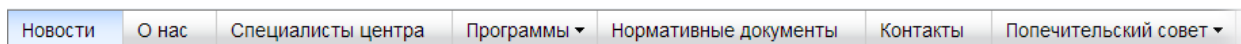


Рис. 2

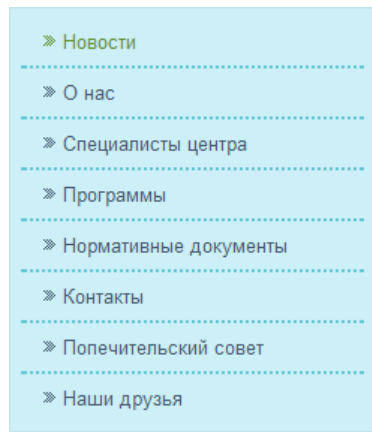


Рис. 3

- дополнительных информационных модулей [Рис. 4,5];

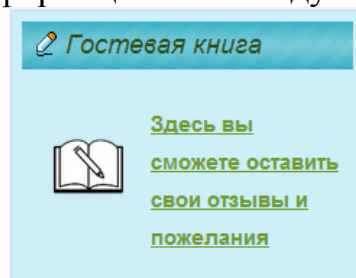


Рис. 4

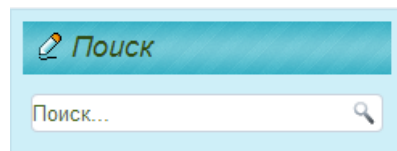


Рис. 5

- футера (нижней части сайта), где может располагаться различная информация [Рис. 6].

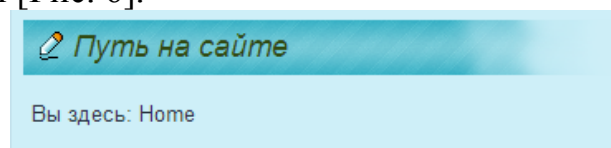


Рис. 6

Официальные сайты государственных учреждений должны иметь строгий дизайн, в то же время в дизайне должна угадываться тематика сайта без контента.

Некоммерческие сайты интересны для пользователей сети Интернет в первую очередь своей информативностью, поэтому при разработке таких

сайтов нужно учитывать быстрый и удобный доступ ко всем разделам информации.

При создании графического макета сайта учитывалось, что с помощью правильно подобранных цветов можно выразить и цели, которые преследовали создатели сайта, и настрой, с которым следует относиться к проекту. Например, сайт, на котором собрана и перемешана вся палитра цветов, никогда не будет восприниматься пользователями всерьез. А строгий черно-белый сайт не вызывает чувства подольше побыть на таком сайте. И если угадать с общим тоном дизайна и цветом отдельных деталей, это существенно поможет пользователям усваивать информацию, находящуюся на сайте.

Список литературы:

1. *Дженнифер Нидерст Роббинс* Web-дизайн. Справочник. – М.: КУ-ДИЦ-Пресс 2008. – 816 с.

ОБ ИСТОРИИ ПОЯВЛЕНИЯ РЕЗЬБЫ И РЕЗЬБОВЫХ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Ливашов Артем Михайлович¹, Зыбин Игорь Николаевич²

¹студент; ²доцент, кандидат технических наук

e-mail: ¹alivashov@mail.ru; ²igor.zybin@mail.ru

При изучении дисциплины инженерной графики в технических ВУЗах особое место отведено разделу, посвящённому типам соединений деталей, а именно резьбовым соединениям и крепежным деталям.

Крепежные детали играют очень важную роль в технике. Без них практически невозможно в нашей жизни собрать какую-нибудь современную технику. О важности этой роли можно судить, например, по ряду примеров: в современном холодильнике крепежных деталей используется более 100, в грузовом железнодорожном вагоне – 1200, в токарно-револьверном станке – более 1500, в автомобиле – около 3500, реактивном самолете – около 1,5 млн.

В связи с этим представляет интерес вопрос об истории создания резьбы и крепежных резьбовых деталей.

Время появления резьбы на деталях в настоящее время до конца не выяснено. Есть предположения, что во времена Римской империи и была изобретена резьба. Первые же упоминания в книгах о резьбе относятся только к началу XV века. Из источников тех лет стало известно, что нарезалась резьба на стержне ручным способом или же ее заменяла наматываемая на стержень проволока, которую потом припаивали к стержню.

Винты с резьбой в современном понимании с другими крепежными деталями были использованы в печатном станке, выполненным немецким изобретателем И. Гутенбергом. Также крепежные детали стали применять часовщики и изготовители военных доспехов. К концу XVII в. винты стали уже широко применяться в огнестрельном оружии.

Первые документированные сведения о гайках с резьбой относятся к концу XVI - началу XVII в. Как и винты, первые гайки также изготавливались вручную и были достаточно плохо обработанными.

В 1568 году был изобретен первый резьбонарезной станок французом Жаком Бессоном. Работал станок от ножной педали. На обрабатываемую заготовку нарезалась резьба с помощью резца, перемещающегося ходовым винтом. В данном станке была заложена координация поступательного движения резца и вращения заготовки. Эта координация обеспечивалась с помощью системы различных шкивов.

В начале XVIII века резьбы больших размеров, как правило, наносились горячей ковкой. Нарезка более мелких резьб производилась на токарных станках, когда резец держался вручную. Поэтому получить резьбу постоянного профиля не удавалось. Следствием этого явилось то, что болт с

гайкой изготавливались фактически парами и хранились вместе до момента их использования в каком-либо устройстве или механизме. Задача жесткого крепления резца и перемещения его вдоль обрабатываемой поверхности стола в те времена была важной и очень актуальной. Впервые проблема самоходного суппорта в токарном станке была успешно решена русским изобретателем А.К. Нартовым в 1712 г.

Производители первых машин поняли, что резьбовое соединение может принципиально улучшить конструкцию по сути любых механизмов. Это позволит значительно облегчить сборку и значительно повысить надежность всего механизма в целом. Поэтому многие известные изобретения того времени стали основываться на применении резьбовых крепежных элементов. Среди них изобретенная англичанином Дж. Харгривсом в 1768г. прядильная машина периодического прядения и в 1793г. хлопкоочистительная машина американца Э. Уитни. Из-за всемирного развития железных дорог они стали достаточно большими потребителями резьбовых крепежных деталей.

Ситуация изменилась в 1800г., когда английский изобретатель Г. Модсли построил 1-й универсальный токарно-винторезный станок, ставший впоследствии основой машиностроения. На этом станке можно было изготавливать винты любого диаметра с любым шагом резьбы. В то же время не было еще тогда определенной системы, которая бы позволяла задавать размер резьбы пропорционально диаметру детали.

Через год в 1801 г. уже упомянутый Э. Уитни выявил еще одну важную идею, которая практически дала толчок в повсеместном использовании резьбовых деталей в различных механизмах. Это была идея о взаимозаменяемости деталей в машинах. Идея была настолько простой и важной, что вскоре была заимствована многими изобретателями, например С. Кольтом, при изобретении им капсюльного револьвера, Дж. Насмитом - парового молота, Э. Терри - часов массового производства и Э. Хоу - швейной машины.

Так как сначала достаточно широкое развитие и распространение резьбовые детали получили в Великобритании, то соответственно и размерность параметров резьбы инженерам всего мира приходилось применять английскую, т.е. дюймовую систему мер. Североамериканские Соединённые Штаты до конца XVIII века находились в колониальном владении Великобритании и, поэтому, тоже использовали английскую систему мер.

В то же время конце XVIII - начале XIX веков во Франции получает широкое распространение метрическая система мер. Некоторые историки полагают, что одной из причин принятия не дюймовой системы мер, а метрической являлось желание нарушить только было принятую систему взаимозаменяемости и сделать невозможным ремонт и сборку английской техники и оружия с использованием французских запчастей. Отметим, что в те времена Великобритания периодически вела войны с Францией. Это

обстоятельство могло препятствовать продвижению Великобритании в случае нападения на Францию или ее колонии.

Впоследствии, Наполеону, завоевавшему почти всю Европу, удалось распространить метрическую систему в подчинённых ему странах. Поскольку Великобританию захватить Наполеону не удалось, то в этой стране продолжали использовать дюймовую систему мер (вплоть до настоящего времени). Хотя многие специалисты отмечают большее удобство работы именно с метрической системой мер.

Проблема, которую не удавалось решить вплоть до начала XIX века, - это отсутствие единообразия среди резьб, нарезаемых на болтах и гайках в разных странах, на разных заводах в пределах одной и той же страны.

Возможность унификации резьб еще не означала их общую унификацию, поскольку каждый производитель был заинтересован иметь собственные стандарты. Это позволяло иметь по сути эксклюзивные права в то время на производство той или иной техники и самое главное экономической целесообразности ремонта ее на данном предприятии. Со временем все же появилась настоятельная потребность создания ряда государственных или международных стандартов. Первый важный шаг в этом направлении был сделан в Великобритании в 1841г., когда Дж. Витворт представил Институту гражданских инженеров свой доклад под названием "Система унифицирования винтовых резьб".

Стандартная система метрической резьбы, разработанная Международной организацией по стандартизации (ISO), была принята в 1964г. Она получила широкое распространение в странах, использующих метрическую систему мер. Наиболее оптимальная метрическая система крепежных изделий, предложенная Институтом промышленных крепежных изделий в 1971г. как усовершенствованный вариант стандарта ISO, легла в основу системы Американского национального института стандартов (ANSI/ISO) и стала международным стандартом метрической резьбы. Также были разработаны и используются единые стандарты дюймовых резьб (например, UNC, UNF).

Таким образом, простая, но важная идея о взаимозаменяемости дала возможность не только разработать различные стандарты на различные типы резьб (ANSI, DIN, ISO, ГОСТ и т.д.), но и значительно способствовала техническому прогрессу (особенно в 19 и начале 20 веков) и развитию мирового машиностроения в целом.

О роли крепежных деталей с экономической точки зрения, можно судить по результатам сделанной в 70-х годах XX века в Великобритании оценки, показавшей, что на соединение конструктивных элементов различных машин и механизмов приходится от 20 до 40% общих расходов, связанных с изготовлением этих систем.

Список литературы

1. Грейвс Ф.Е. Болты и гайки // В мире науки. – 1984. - №8. – С.79-86.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗЬБЫ

Сидоров Павел Михайлович¹, Сахаров Владимир Валентинович²

¹студент; ²старший преподаватель

e-mail: ¹SidorowPawel95@yandex.ru; ²Vlad.saharov2011@yandex.ru

Резьба – это чередующиеся выступы и впадины на поверхности тел вращения, расположенные по винтовой линии. В технологии машиностроения существует несколько способов изготовления резьбовой поверхности.

Способы получения резьбы:

- 1) нарезание резцами или гребенками;
- 2) нарезание плашками, резьбонарезными головками и метчиками;
- 3) накатывание;
- 4) фрезерование;
- 5) шлифование абразивными кругами.

Нарезание резьбы резцами. Способ нарезания резьбы резьбовыми резцами и гребенками (рис. 1) на токарно-винторезных станках характеризуется относительно невысокой производительностью, поэтому в настоящее время он применяется в основном в мелкосерийном и индивидуальном производстве, а также при создании точных винтов, калибров, ходовых винтов и т. д. Плюсом этого способа является простота режущего инструмента и сравнительно высокая точность получаемой резьбы. При одновременном вращательном движении детали, на которой нарезается резьба, и поступательном движении резца (вдоль оси детали) последний снимает слой металла в виде винтовой линии (рис. 2). Этим способом нарезается резьба диаметром от 12 мм и более.

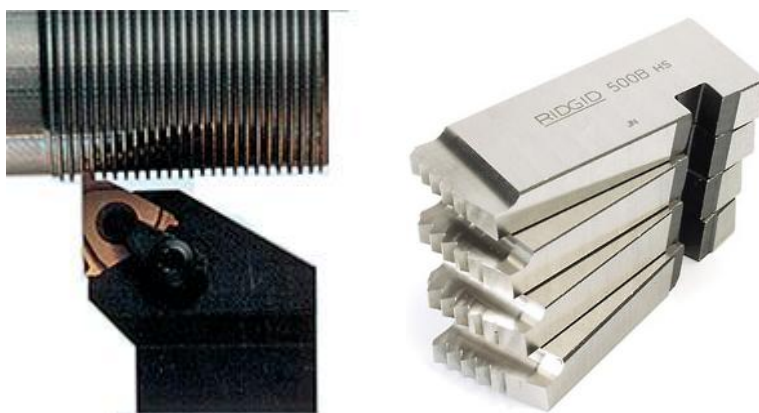


Рис. 1

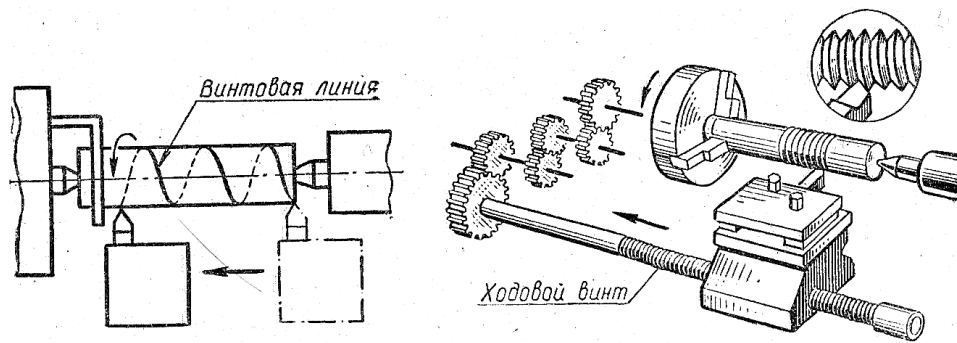


Рис. 2

Нарезание наружной резьбы плашками и внутренней резьбы метчиками. Плашки по своим конструктивным особенностям делятся на круглые (лерки) (рис.3) и раздвижные (круповые).



Рис. 3

Круглые плашки, имеющие применение на монтажных, заготовительных и других работах, предназначены для нарезания резьбы диаметром до 52 мм в один проход. Для более крупной резьбы применяют плашки особой конструкции, которые фактически служат лишь для зачистки резьбы после предварительной нарезки ее другими инструментами.

Раздвижные плашки состоят из двух половин, вставляющихся в круп и постепенно сближающихся в процессе резания (Рис. 4).

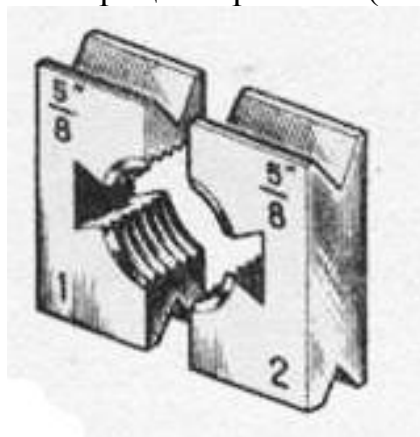


Рис. 4

При нарезании резьбы на металлорежущих станках плашка устанавливается и закрепляется в специальном патроне или приспособлении. Деталь подается в калибрующую часть вращающейся плашки.

Метчик (рис. 5) представляет собой стальной стержень с резьбой, разделенный продольными прямыми или винтовыми канавками для выхода стружки, образующими режущие кромки. Метчики разделяются на ручные и машинные.



Рис. 5

Последовательность получения резьбы в отверстиях такова. Вначале сверлят отверстие, куда в дальнейшем будет завернута шпилька или винт. Диаметр сверла должен быть выбран из таблицы рекомендуемых стандартом. Резьбу нарезают комплектом из двух или трех метчиков (малого, среднего и нормального, чистового) в зависимости от размера резьбы. Нарезать резьбу одним метчиком (нормальным) за один заход нельзя. Для метрической резьбы с крупным шагом и дюймовой резьбы комплект состоит из трех метчиков, для метрической резьбы с мелким шагом и трубной резьбы – из двух.

Накатывание резьбы. Основной промышленный метод изготовления резьбы без снятия стружки в настоящее время – накатка на специальных резьбонакатных станках. Он основан на пластической деформации обрабатываемой поверхности. Этот метод высокопроизводителен и обеспечивает высокое качество изделия (формы, размеров и шероховатости поверхности).

Деталь прокатывают между двумя плоскими плашками или цилиндрическими роликами, имеющими резьбовой профиль, и на стержне выдавливается резьба такого же профиля (рис. 6).

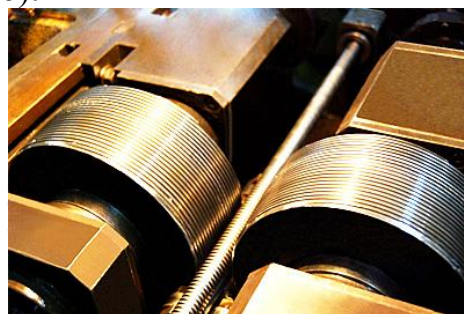
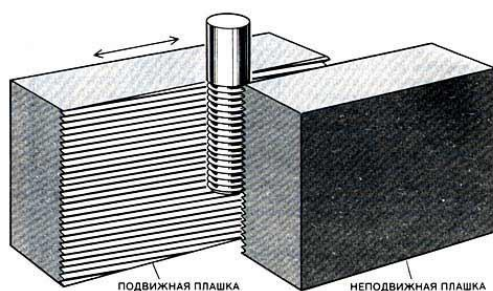


Рис. 6

Наибольший диаметр накатываемой резьбы 25 мм, наименьший 1 мм; длина накатываемой резьбы 60...80 мм.

Фрезерование резьбы. Фрезерование наружной и внутренней резьбы производится на специальных резьбофрезерных станках. В этом случае вращающаяся гребенчатая фреза при радиальной подаче врезается в тело детали и фрезерует резьбу на ее поверхности (рис. 7). Периодически происходит осевое перемещение детали или фрезы от специального копира на величину, равную шагу резьбы за время одного оборота детали.

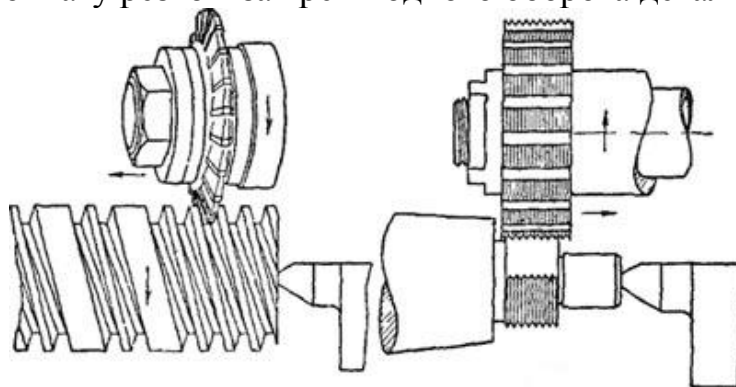


Рис. 7

Шлифование точной резьбы. Шлифование резьбы применяется для получения точной резьбы на сравнительно коротких резьбовых деталях, например резьбовых пробках – калибрах, резьбовых роликах и т. д.

Шлифовальный круг, расположенный к детали под углом подъема резьбы, при быстром вращении и при одновременном медленном вращении детали с подачей вдоль оси на величину шага резьбы за один оборот вырезает (вышлифовывает) часть поверхности детали (рис. 8). В зависимости от конструкции станка и ряда других факторов резьба шлифуется за два-четыре и более прохода.

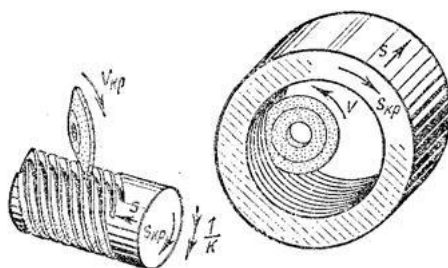


Рис. 8

Список литературы

1. Кузьменко В. И., Ройтман И. А. Основы машиностроения в черчении. – М.: «Просвещение», 1977. – 54 с.

СХЕМА - КОНСТРУКТОРСКИЙ ДОКУМЕНТ

Андросов Алексей Юрьевич¹, Кирпичникова Нина Николаевна²

¹студент; ²старший преподаватель

e-mail: ¹androsov11at@mail.ru; ²galateia@post.ru

В статье даются основные понятия о конструкторском документе схема, их назначение, рассматриваются виды схем и графические обозначения.

Ключевые слова: *Схема*

SCHEME - DESIGN DOCUMENT

Androsov Alexey Yur'yevich¹, Kirpichnikova Nina Nikolayevna²

¹Student, no; ²Senior lecturer, no

e-mail: ¹androsov11at@mail.ru; ²galateia@post.ru

The article provides a basic understanding of circuit design document, their purpose, and discusses the types of schemes and graphic symbols.

Keywords: *Scheme*

В повседневной жизни нас окружает множество предметов, всякого рода информация в виде рекламы, картинок, вывесок, разметки на проезжей части дороги, дорожных указателей. Не хватит времени перечислять все это. Коснемся маленькой толики этого многообразия. В любом пассажирском транспортном средстве есть схема маршрута, посещая парки отдыха, торговые центры, ориентируемся по схемам, которые указывают то или иное интересующее нас место. Что же такое схема, какое место занимает, есть ли правила выполнения?

В техническом вузе на первом, втором курсах мы изучаем основы инженерной графики: правила построения изображений, правила выполнения рабочих чертежей деталей, сборочных единиц и многое другое. Для успешного выполнения курсовых проектов, дипломной работы на старших курсах, нам необходимо знать правила выполнения схем.

Виды и типы схем, общие требования к выполнению. Схема по ГОСТ 2.102—68 — графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Среди видов конструкторских документов схема занимает достаточно высокое место.

Схемы применяют для проектирования, изучения принципов работы, изготовления, регулировки, контроля и ремонта изделий. Требования выполнения и оформления схем стандартизованы и изложены в седьмой группе стандартов ЕСКД.

Для знакомства со схемами изучим термины:

Элемент схемы — составная часть схемы, выполняющая определенную функцию в изделии (резистор, насос и т. п.).

Устройство — набор элементов, представляющих единую конструкцию (блок, плата). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

Функциональная группа — совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Функциональная часть — элемент, устройство, функциональная группа.

Функциональная цепь — линия, канал, тракт определенного функционального назначения (канал звука, видеоканал и т. п.).

Линия взаимосвязи (или связи) — отрезок линии, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия.

Установка — условное наименование объекта в энергетических сооружениях, на который выпускается схема, например главные цепи.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы подразделяют на следующие виды, которые обозначают буквами: электрическая — Э; гидравлическая — Г; пневматическая — П; кинематическая — К; оптическая — Л; вакуумная — В; газовая — Х; автоматизации — А; комбинированная — С.

В зависимости от основного назначения схемы подразделяются на следующие типы, которые обозначают цифрами: структурные — 1; функциональные — 2; принципиальные (полные) — 3; соединений (монтажные) — 4; подключения — 5; общие — 6; расположения — 7; прочие — 8; объединенные — 0. Например, схема гидравлическая принципиальная — Г3, схема электрическая соединений — Э4.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Ее разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, которые предшествуют разработке схем других типов. При эксплуатации структурную схему используют для общего ознакомления с изделием (рис. 1.).



Рис. 1

Функциональная схема разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных цепях изделия или в изделии в целом. Ею пользуются для изучения принципов работы изделия, а также при наладке, регулировке, контроле и ремонте.

Принципиальная (полная) схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. Она служит основанием для разработки других конструкторских документов, например схем соединений (монтажных) и чертежей.

Принципиальными схемами пользуются для изучения принципов работы изделия, а также при их наладке, контроле и ремонте.

Схема соединений (монтажная) показывает соединения составных частей изделия и определяет провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места присоединения и ввода. Ею пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии, а также для осуществления присоединений и при контроле, ремонте и эксплуатации изделий.

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. Ею пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключений изделий и при их эксплуатации.

Общая схема определяет составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации. Ею пользуются при ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей изделия, а при необходимости также проводов, жгутов, кабелей, трубопроводов и т. п. Ее используют при разработке других конструкторских документов, а также при изготовлении и эксплуатации изделий.

Номенклатура схем на изделие определяется разработчиком в зависимости от особенностей изделия. При этом количество типов схем на изделие определяют минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия.

Форматы листов схем выбирают в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ 2.301—68, как и при разработке рабочих чертежей.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделий либо не учитывается вовсе, либо учитывается приближенно. Допускается располагать условные графические обозначения элементов на схеме в том же порядке, в котором они расположены в изделии, если это не затруднит чтение схемы.

Графические обозначения элементов и соединяющие их линии связи располагают на схеме таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

При выполнении схем применяют графические обозначения: условные графические обозначения установлены стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.723-729-68 – для электрических элементов, ГОСТ 2.780-785 – 70 – гидравлические и пневматические элементы); упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические); прямоугольники.

При необходимости применяют нестандартизованные графические обозначения, при этом на схемах приводят соответствующие пояснения.

Условные графические обозначения элементов, используемых как составные части обозначений других элементов, можно изображать уменьшенными по сравнению с остальными элементами.

Графические обозначения выполняют линиями той же толщины, что и линии связи. Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах.

На схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Такие сведения указывают либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы. Около графических обозначений элементов и устройств указывают номинальные значения их параметров, а на свободном поле схемы - диаграммы, таблицы, текстовые указания и т. п.

Схеме присваивают обозначение того изделия, для которого она разработана. После этого обозначения записывают шифр схемы. Наименование схемы указывают в основной надписи после наименования изделия.

Кинематические схемы. Кинематические схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на следующие типы: принципиальная, структурная, функциональная.

Кинематические схемы выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.703-68.

На принципиальной кинематической схеме изделия представляют всю совокупность кинематических элементов и их соединений, предназначенных для осуществления, регулирования, управления и контроля заданных движений исполнительных органов. На схеме отражают кинематические связи (механические и немеханические), предусмотренные внутри исполнительных органов, между отдельными парами, цепями и группами, а также связи с источником движения.

Зная условные графические обозначения, прочитаем схемы. На рисунке 2 представлено аксонометрическое изображение принципиальной кинематической схемы механизма настройки радиоприемника.

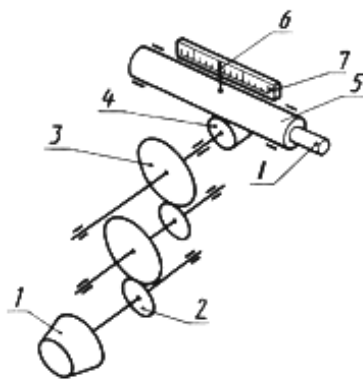


Рис. 2

От ручки настройки 1 вращение через зубчатые колеса 2—3 передается на реечное колесо 4, которое перемещает рейку 5, представляющую собой цилиндр с нарезанными зубьями. Совместно с рейкой будет перемещаться исполнительное устройство, которое соединено с приливом I рейки. Настройка механизма производится указателем 6 по шкале 7.

Принципиальная кинематическая схема токарно-винторезного (резьбонарезного) станка повышенной точности приведена на рисунке 3.

Вращение шпинделя осуществляется от двухскоростного электродвигателя 18 (число оборотов в минуту 720 или 1430) через коробку скоростей с зубчатыми колесами 1—13 и две клиноременные передачи 14—15 и 16—17. Коробка скоростей позволяет получить шесть скоростей шпинделя при прямом, а также при обратном вращении электродвигателя. Настройка этой цепи осуществляется двумя переставными блоками зубчатых колес коробки передач: блоком с колесами 3, 5 и блоком с колесами 7, 9, 11. При зацеплении колес 3—4 или 5—6 вал с неподвижно закрепленными колесами 6, 8, 7 может вращаться с двумя скоростями. При зацеплении зубчатых колес 6—7, или 8—9, или 10—11 зубчатые колеса 12—13 и шкив 14 получают шесть скоростей вращения.

Продольное перемещение суппорта с режущим инструментом осуществляется от шпинделя через сменные шестерни $a—b$, $c—d$ и ходовой винт.

Принципиальную кинематическую схему изделия вычерчивают в виде развертки. Так выполнена и схема коробки передач с зубчатыми колесами

1—13 на рисунке 3. Допускается кинематические схемы вписывать в контур изображения изделия, а также вычерчивать их в аксонометрических проекциях (рис. 2).

Если валы и оси при изображении на схеме пересекаются, то линии, изображающие их, в местах пересечения не разрывают. Если на схеме валы и оси закрыты другими элементами или частями механизма, то их изображают как невидимые.

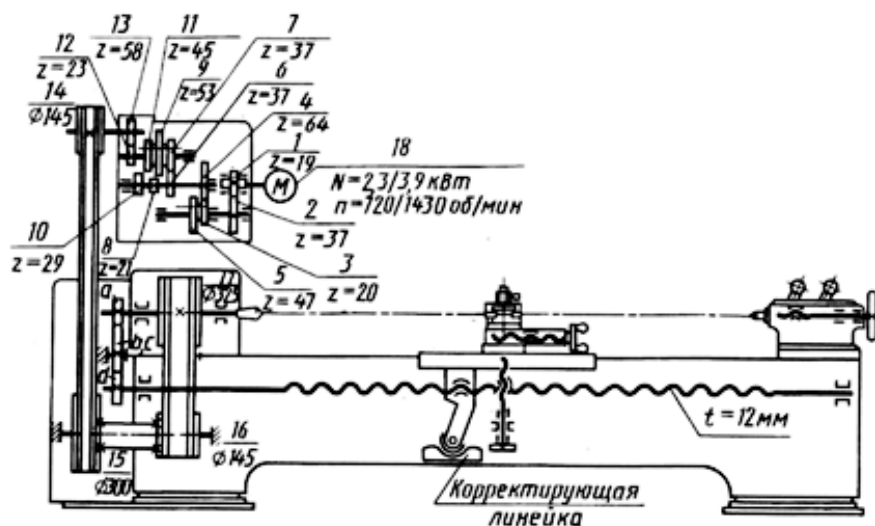


Рис. 3

На принципиальных кинематических схемах изображают:

валы, оси, стержни, шатуны, кривошипы и т. п. — сплошными основными линиями толщиной;

элементы, изображенные упрощенно внешними очертаниями, зубчатые колеса, червяки, звездочки, шкивы, кулачки и т. п. — сплошными линиями;

контур изделия, в который вписана схема, — сплошными тонкими линиями;

кинематические связи между сопряженными звеньями пары (вычерченными отдельно) — штриховыми линиями;

кинематические связи между элементами или между ними и источником движения через немеханические (энергетические) участки — двойными штриховыми линиями;

расчетные связи между элементами — тройными штриховыми линиями.

На принципиальной кинематической схеме изделия указывают:

а) наименование каждой кинематической группы элементов, учитывая ее основное функциональное назначение (коробка скоростей, корректирующая линейка — рис. 3), которое наносят на полке линии-выноски, проведенной от соответствующей группы;

б) основные характеристики и параметры кинематических элементов, определяющие исполнительные движения рабочих органов изделия или его составных частей. Указаны характеристики электродвигателя (мощность, число оборотов), число зубьев зубчатых колес, величина хода ходового винта, диаметры шкивов клиноременных передач.

Каждому кинематическому элементу, изображенному на схеме, присваивают порядковый номер, начиная от источника движения, или буквенно-цифровые позиционные обозначения. Рекомендуется использовать следующие буквенные коды наиболее распространенных групп элементов: А — механизмы (общее обозначение); В — валы; С — элементы кулачковых механизмов (кулачок, толкатель); Е — разные элементы; Н — элементы механизмов с гибкими звеньями (цепь, ремень); К — элементы рычажных механизмов; М — источник движения (рис. 3, поз. 18); Р — элементы мальтийских и храповых механизмов; Т — элементы зубчатых и фрикционных механизмов; Х — муфты, тормоза. Валы допускается нумеровать римскими цифрами, остальные элементы нумеруют только арабскими цифрами.

Порядковый номер элемента проставляют на полке линии-выноске. Под полкой линии-выноски указывают основные характеристики и параметры кинематического элемента.

Сменные кинематические элементы групп настройки обозначают на схеме строчными буквами латинского алфавита (сменные шестерни *a*, *b*, *c*, *d* на рис. 3) и указывают в таблице характеристики для всего набора сменных элементов.

Правила выполнения требуют на структурной кинематической схеме изображать все основные функциональные части изделия (элементы, устройства) и основные взаимосвязи между ними. Структурные кинематические схемы изделия представляют либо графическим изображением с применением простых геометрических фигур, либо аналитической записью, допускающей применение ЭВМ. На структурной схеме указывают наименование каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применена простая геометрическая фигура. При этом наименования, как правило, вписывают внутрь этой фигуры.

На функциональной кинематической схеме изображают функциональные части изделия, участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями. Функциональные части изображают простыми геометрическими фигурами и указывают наименования всех изображенных функциональных частей. Для наиболее наглядного представления процессов, иллюстрируемых функциональной схемой, обозначения функциональных частей располагают в последовательности их функциональной связи.

Список литературы

1. Бродский А.М., Фазлулин Э.М., Халдинов В.А. Инженерная графика. — М.: АСАДЕМА, 2004. — 367 – 385 с.
2. Чекмарев А.А. Начертательная геометрия и черчение. — М.: ВЛАДОС, 2005. — 349 – 368с.
3. Дмитриев А.В., Лещин А.В. Кинематические схемы опор шасси. Выбор схемы и основных параметров опор шасси самолетов. — М.: МАИ, 2003 (www.IQlib.ru).
4. Шухман С.Б., Бахмутов С.В., Коркин С.Н., Малкин М.А. Принципы автоматического управления гибкой трансмиссией полноприводного АТС. Автомобильная промышленность. — М.: Машиностроение, 2007 (www.IQlib.ru).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ, СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ РОБОТА МП-9С

Исаев Асим Алмаз-оглы¹, Петелин Владимир Анатольевич²,
Масюк Владимир Михайлович³

¹Студент; ²Студент; ³Доцент, К.ф-м.н.

e-mail: ¹asim-93@mail.ru; ²alonso-87@mail.ru; ³masyuk77@mail.ru

Введение. Применение микропроцессорных средств позволяет строить универсальные устройства измерения частоты импульсов, легко перестраиваемые на различные режимы его работы [1].

Анализ технического задания показывает, что проектируемое устройство должно выполнять три основные задачи:

- 1) Содержать счетчик числа измерительных импульсов.
- 2) Содержать таймер измерительного интервала.
- 3) Обеспечить вывод частоты вращения вала на СОМ порт.

Целями и задачами работы являются: оценка и выбор МК устройства управления, проектирование аппаратной части микропроцессорного комплекса измерения частоты вращения оптического инкрементного энкодера, разработка макетных плат блока формирования и усиления сигнала с оптического датчика, платы микроконтроллера, разработка программной части, разработка ПО, реализующая метод измерения периода импульса на МК. Устройство выполнено преимущественно на широко распространенных компонентах.

Выбор энкодера. Энкодер - это устройство преобразующее линейное или угловое перемещение в последовательность сигналов - инкрементальный энкодер или энкодер относительного перемещения, или преобразующее линейное или угловое положение в цифровой код - абсолютный энкодер.

В данной используется относительный энкодер, по причине дешевизны и простоты реализации.

Разработка режима работы микропроцессорного измерителя. Частота входного сигнала измеряется частотным методом. Частотный метод основан на преобразовании частоты вращения в пропорциональную частоту переменного синусоидального или импульсного напряжения и последующем преобразовании последней в требуемый выходной сигнал преобразователя. Этот метод при испытаниях электродвигателей получил наибольшее распространение. Частотный метод измерения исключает внесение дополнительных погрешностей датчиком или линией связи, так как

частота сигнала определяется лишь частотой вращения и конструкцией датчика [1].

Разработка функциональной схемы измерителя. Вариант функциональной схемы прибора, рассчитанный на применение микроконтроллера Atmega 16 приведен на рис. 2. Функциональная схема формирования импульса для микропроцессорного измерителя частоты вращения вала приведен на рис. 3. Информацию о частоте вращения вала формирует оптический датчик инфракрасного излучения. Основу оптического датчика составляет перфорированный диск с 48 радиально расположенными прорезями. Сигнал, излучаемый светодиодом улавливается фотодиодом. Операционный усилитель LM2904 включен по схеме преобразователя тока в напряжение. Максимум принятого фотодиодом инфракрасного излучения приходится на момент когда одна из прорезей оптического диска находится напротив излучающего диода. Принятый инфракрасный сигнал усиливается на выходе LM2904.

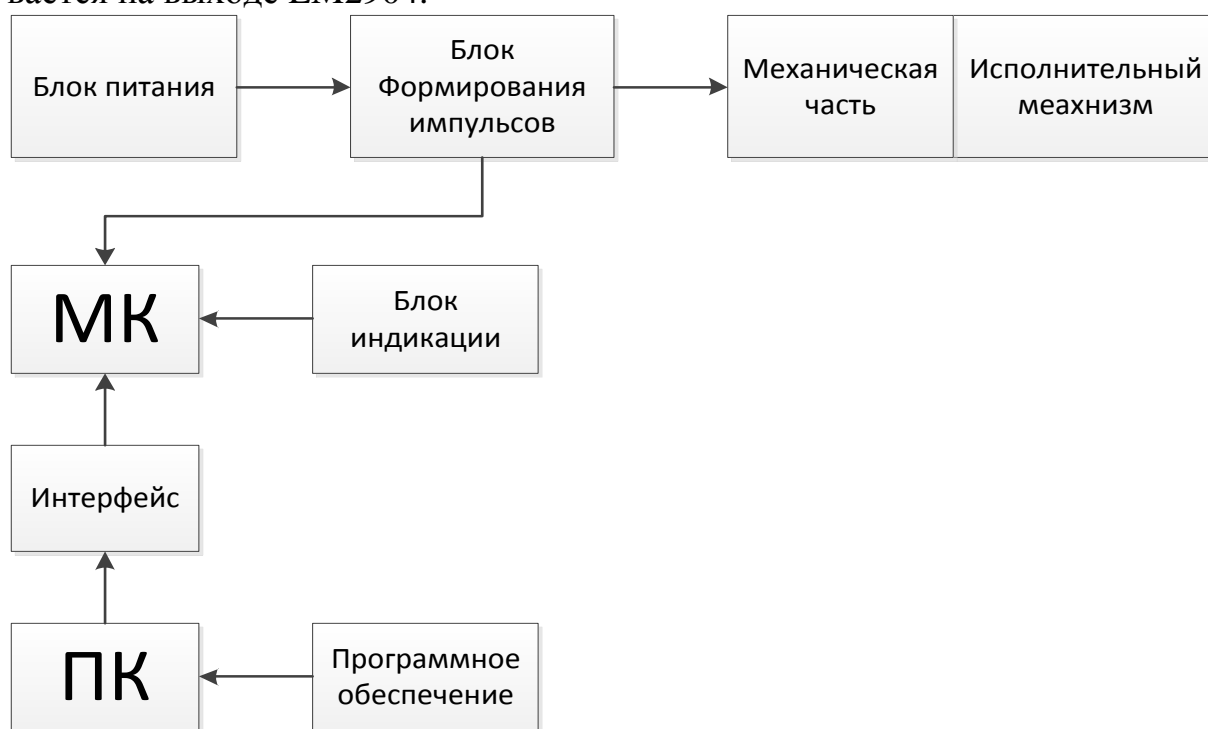


Рис. 2

Измерительные импульсы поступают на входы 2 и 3 операционного усилителя. Используя синхронизацию измерительных импульсов со временем внутреннего таймера вычисляется частота вращения вала двигателя X. Датчик реализован на светодиоде, фотодиоде и операционном усилителе. ОУ имеет внутреннюю цепь частотной коррекции, малые входные токи и малое потребление тока источника питания.

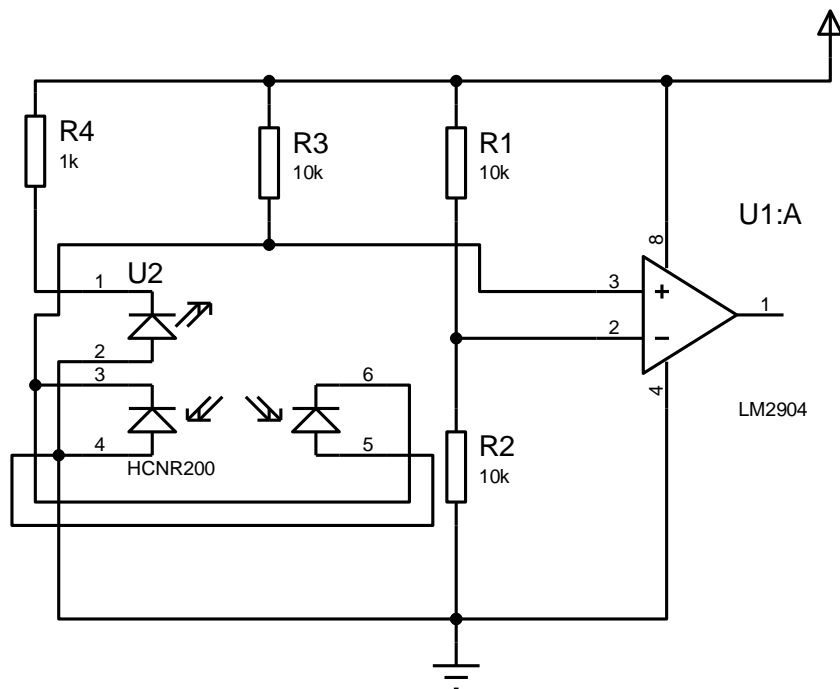


Рис. 3

С помощью резистора R1 при настройке устанавливается рабочий ток светодиода порядка 1-3 мА. Величина сопротивления резистора R2 определяет коэффициент преобразования тока фотодиода в напряжение на выходе U1. Резистор R3 уменьшает влияние входных токов ОУ на сдвиг и дрейф нуля на выходе операционного усилителя. Выбираем R2=R3=10 кОм. Отношение резисторов R1 и R2 определяет порог срабатывания компаратора U1. по напряжению [2].

Обоснование алгоритма работы устройства. В начале программы выполняется конфигурирование портов ввода/вывода (вывод ICP настраивается на вход и включается подтягивающий резистор), настройка таймера T1 и инициализация символьного LCD. Затем микроконтроллер попадает в бесконечный цикл, где каждые n мс считывает содержимое буфера, вычисляет частоту и выводит ее значение на дисплей. Также на дисплей выводится содержимое регистра захвата. По положительному фронту сигнала на выводе ICP (PD6 для Atmega16) блок захвата таймера T1 сохраняет значение счетного регистра и генерирует запрос на прерывание. В обработчике прерывания счетный регистр обнуляется, а значение регистра захвата записывается в буфер. Значение, которое сохраняет блок захвата, соответствует числу тиков таймера укладываемых в период измеряемого сигнала. Предделитель таймера T1 равен 1, соответственно тактовая частота таймера равна тактовой частоте микроконтроллера – 8 МГц. Отсюда период измеряемого сигнала = $ICR * 1/8000000$. А частота = $1 / (ICR * 1/8000000) = 8000000/ICR$ [3].

$$Z = \frac{L}{N} = \frac{\pi \cdot D}{N} = \frac{\pi \cdot 24}{48} = 1,57 \frac{мм}{импульс}, \text{ где}$$

D – диаметр колеса,

N – число прорезей.

$t = 0,2c$ – время выдвижения,

$S = 152,5 мм$ – ход штока,

$X = \frac{S}{Z} = \frac{152,5}{1,57} = 97 им$ – количество импульсов за один полный ход,

$\tau_{им} = \frac{t}{X} = \frac{0,2}{97} = 2 мс$ – время одного импульса,

Исходя из времени импульса рассчитываем частоту предделителя, учитывая, что мы будем использовать 16-ти битный таймер.

При минимальной скорости движения штока получаем $t = 1c$, откуда

$\tau_{им} = \frac{t}{X} = \frac{1}{97} = 10,3 мс$, $\tau_{мк} = \frac{\tau_{max}}{B} = \frac{10,3}{65536} = 0,16 мкс$,

т.е. частота микроконтроллера должна составлять не менее

$\frac{1}{0,16} = 6,25 МГц$, что удовлетворяет исходным данным.

Выводы. В результате проектирования разработана принципиальная схема микропроцессорного измерителя частоты и необходимое для его работы программное обеспечение. Разработано ПО, реализующая метод измерения периода импульса на МК. Создана визуальная 3D модель части манипулятора с энкодером.

Список литературы

1. *Лейтман М.Б.* Автоматическое измерение выходных параметров электродвигателей: (методы и аппаратура). – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 152 с., ил.
2. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.1. Пер. с англ. – 4-е изд. и доп. – М.: Мир, 1993. – 413 с., ил.
3. *Евстифеев А.В.* Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2007. – 592 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ

Гавриков Александр Витальевич¹, Никольский Василий Васильевич²

¹студент; ²старший преподаватель

e-mail: ¹blackskorpion@mail.ru; ²m3kf@bmstu-kaluga.ru

Сегодня изучение инженерной графики, деталей машин... и других технических дисциплин все более увязывают с компьютерной грамотностью студентов. Многие кафедры технических ВУЗов стали задумываться, как оптимально решить задачу качественной современной подготовки инженеров. Оценивая объективно первокурсника, поступающего в технический ВУЗ, можно сказать, что это человек со слабо развитым пространственным представлением, не изучавший в школе черчение, плохо знающий геометрию, не умеющий организовать самостоятельную работу, освободившийся от прессинга учителей и родителей и не умеющий адекватно распорядиться свалившейся на голову свободой. Первое, что необходимо сделать при обучении студентов - заинтересовать. Использование в графической подготовке студентов современных технических средств призвано сделать процесс обучения более доступным, интересным, стимулирующим студента к сознательному пониманию учебного материала.

Студенты уже сейчас выполняют курсовые и дипломные проекты только в электронном виде, поэтому изучение таких графических редакторов как AutoCAD, Компас и др., кафедра «Инженерная графика» рекомендует (и закладывает в учебный план) с первого семестра.

В КФ МГТУ им. Баумана, на кафедре «Инженерная графика» студенты изучают графические редакторы и выполняют чертежи в 2D и 3D, в разных объемах. При изучении раздела инженерной графики «Построение изображений» кафедра использует иллюстративный материал – модели изображаемых тел (Рис. 1). Это помогает студентам быстрее представить форму детали, правильно выполнить чертёж, изучить алгоритмы и правила построения аксонометрических проекций, стимулируют их самостоятельному освоению графических редакторов.

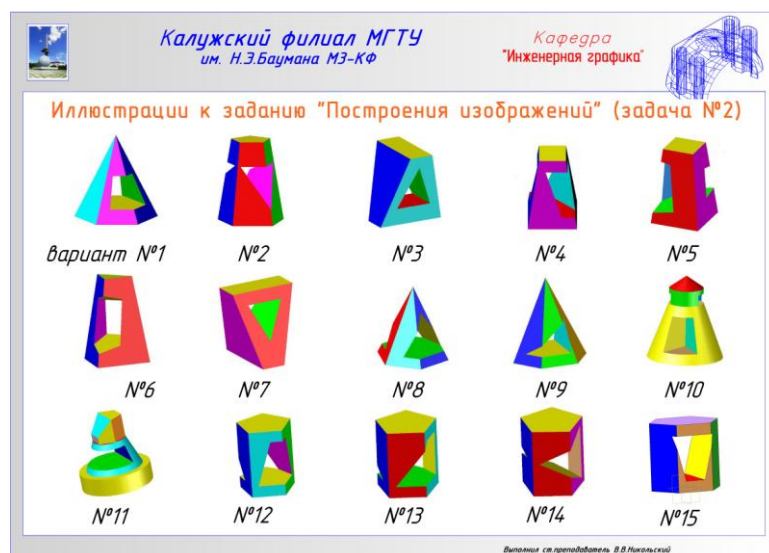
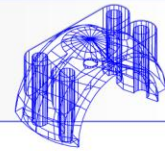


Рис.1

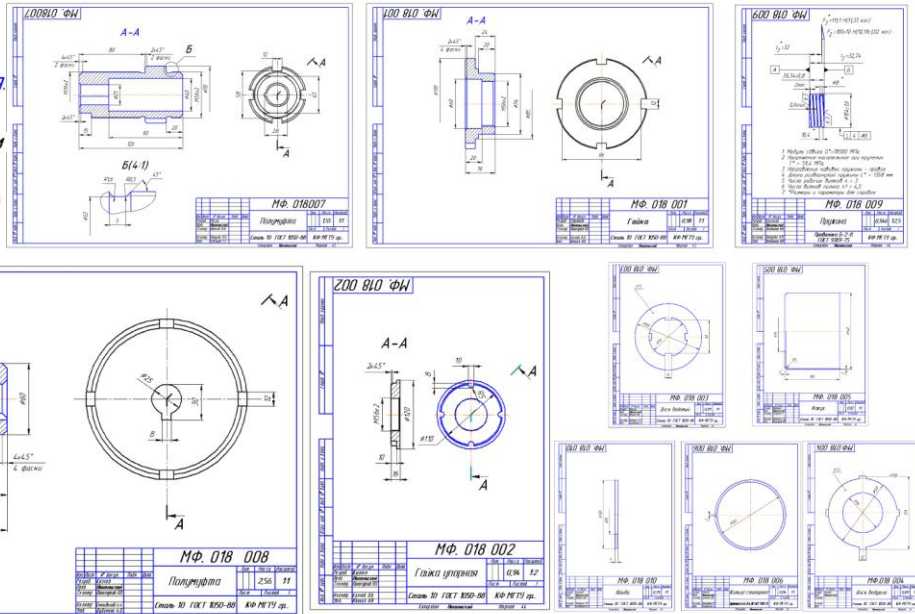
На машиностроительных и конструкторских специальностях технических ВУЗов студенты изучают предмет «Детали машин», при этом, календарным планом, предлагается выполнение курсового проекта. Цель курсового проекта заключается в ознакомлении учащихся с конструкциями типовых деталей и узлов машин и механизмов, в привитии навыков самостоятельного решения инженерно-технических задач, на основе полученных знаний, по всем предшествующим общеобразовательным и общетехническим дисциплинам. В помощь коллегам других кафедр, кафедра «Инженерная графика» предполагает создание альбома детализации, по которому студенты по чертежам технического узла и описанию его работы должны выполнить сборочный чертеж и спецификацию к нему. Задание для студентов на выполнение сборочного чертежа и спецификации «Муфты фрикционной» показано на рис. 2, пример муфты показан на рис. 3. В настоящее время студенты выполняют эту работу в электронном виде, а не в традиционном варианте (карандаш). Это требует соответствующей подготовки индивидуальных заданий.



Задание №18

МУФТА ФРИКЦИОННАЯ

По рабочим чертежам деталей и описанию сборочной единицы выполнить сборочный чертёж. Составить спецификацию.



Выполнил ст. преподаватель В.В.Никольский

Рис.2

Задание №18. Муфта фрикционная

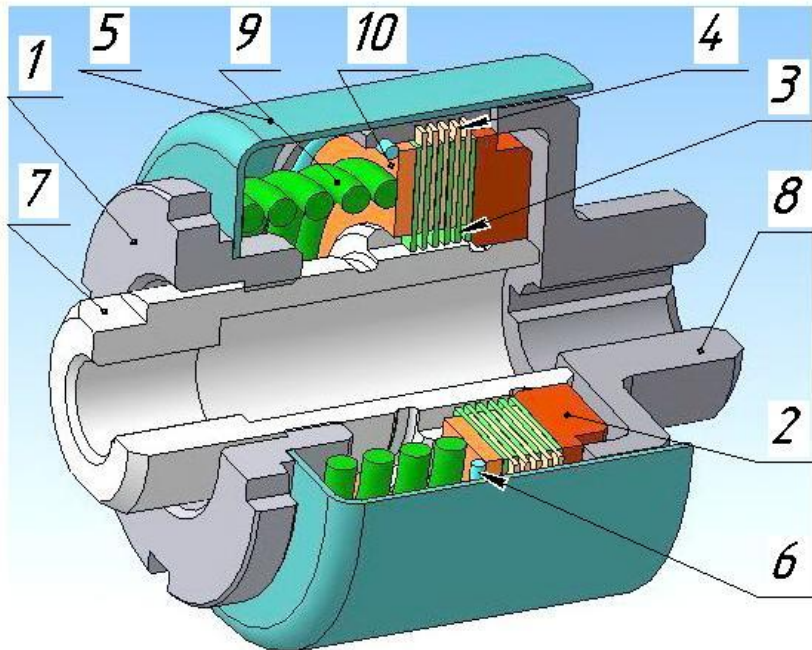


Рис.3

Чтобы студент смог выполнить сборочный чертёж, к заданию прилагается описание работы муфты, назначение, порядок сборки-разборки узла, используемые стандарты крепежных изделий и т. д.

Преподаватель может продемонстрировать форму каждой детали муфты и последовательно из них собрать узел. Это и есть межпредметная связь в обучении студентов. Кафедра «Инженерная графика» не в состоянии выполнить подобные задания для всех узлов альбома курсового проектирования, но возможность такая существует. К подобной работе (Рис.4, Рис.5) уже сейчас возможно привлечение студентов и преподавателей, желающих освоить 3-D моделирование.

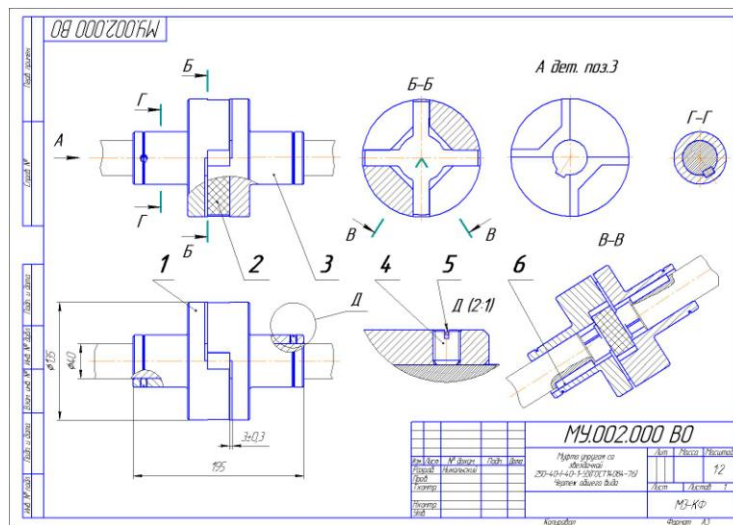
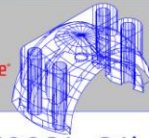


Рис.4



Муфта компенсирующая упругая со звездочкой (ГОСТ Р 58894-96)

Конструкция, основные параметры и размеры муфт

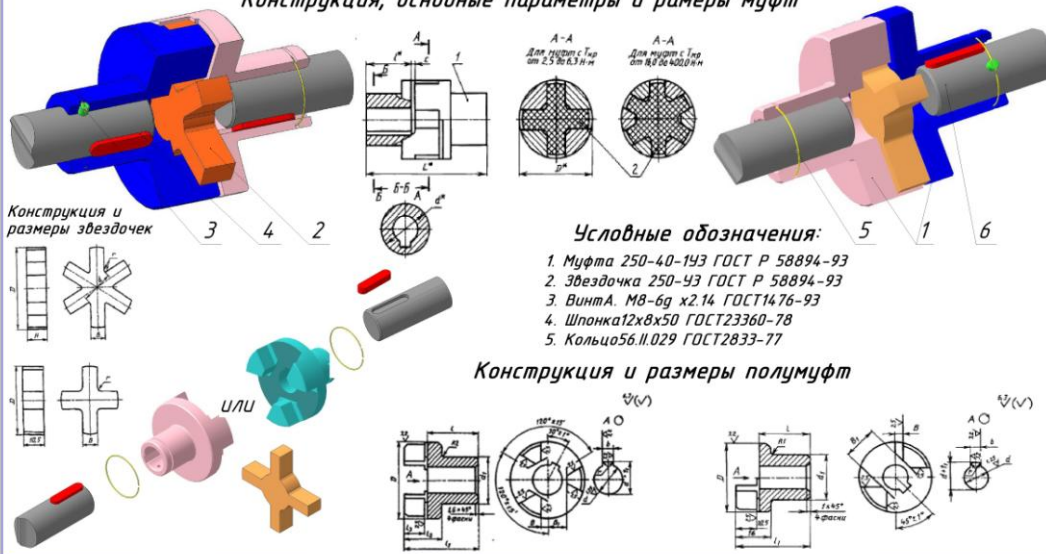


Рис.5

Использование компьютерных технологий дает возможность интенсифицировать учебный процесс, сократить время освоения графических дисциплин, позволяет студентам использовать полученные знания и навыки при выполнении графических задач, как на младших, так и на старших курсах. Главная цель модернизации графической подготовки – существенный рост качества обучения без увеличения количества учебных часов.

Положительным моментом в обучении студентов техническим дисциплинам, является возможность оперативно находить в интернете учебную и справочную литературу и использовать ее при выполнении компьютерного варианта задания, индивидуальности самого задания, а самое главное - учет инноваций и требований графической подготовки на современном этапе обучения в высшей школе.

Список литературы

Якунин В.И., Иванов Г.С. Судьбу начертательной геометрии должны определять специалисты // Современные проблемы информатизации геометрической и графической подготовки инженеров: Межвузовский научно-методический сборник.– Саратов: Изд. СГТУ, 2007. - С. 3-7.

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Толоконников Вадим Эдуардович¹, Терских Алексей Олегович²,
Сломинская Елена Николаевна³**

¹студент, нет; ²студент, нет; ³доцент, к.т.н.
e-mail: ¹vadimtv@gmail.com; ²axel@traceur.ru;
³slominskaya_elena@mai.ru

«Российское профобразование должно стать конкурентоспособным на мировом уровне. Именно инженерные кадры, воспитанные российскими вузами, будут основой для модернизации экономики»

«Молодежь обладает огромным творческим, созидательным потенциалом и мы будем оказывать ей всю необходимую поддержку. Мы создадим стимулы для участия бизнеса, будущих работодателей в деятельности учреждений профессионального образования. Более тесная интеграция с промышленными предприятиями и другими организациями позволит не только готовить кадры, отвечающие потребностям работодателей, но и даст учащимся гарантии будущего трудоустройства. Необходимо в обязательном порядке создать условия для прохождения практики по специальности учащимся профессиональных учебных заведений, привлекать к преподаванию тех, кто работает на производстве».

Владимир Владимирович Путин

В современных условиях важное место отводится задаче интеграции науки, образования и инновационной деятельности. Предполагается, что это является одним из решающих факторов развития экономики и общества. Потребность в высококвалифицированных и инициативных работниках обостряется в новых условиях, ведет к естественной интеграции вуза и основных работодателей, потребителей их услуг. Интеграция позволяет работодателям действительно участвовать в формировании и оснащении программы обучения, закладывая в условия специализации свои технологические «платформы», активно знакомиться с будущими выпускниками, привлекая их для прохождения практики и участия в проектах по своей проблематике.

В данной работе приводятся примеры взаимодействия российских вузов с ведущими промышленными предприятиями

Пензенские вузы вместе с производственными предприятиями участвовали в конкурсе с шестью проектами, из которых два проекта стали победителями и получили финансирование из федерального бюджета:

1. Проект ОАО «Рубин» совместно с Пензенским государственным университетом по «Разработке и подготовке производства телекоммуника-

ционного оборудования, разработке программного сетевого, прикладного и специального обеспечения для создания цифровых сетей связи с персонализированным доступом» (30 миллионов рублей).

2. Проект ООО Производственно-инвестиционная компания «Диатомит-Инвест» (Ульяновская область) совместно с Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства «Создание наукоемкого производства по выпуску пеностеклокерамики на основе опалкристиобалитовых пород» (122 миллиона рублей).

В Пензенской области создан банк данных инновационных проектов, в который входят 124 проекта, из них вузами и малыми инновационными предприятиями при них разработано 84 проекта или 68 процентов.

Одной из форм эффективного развития инновационных процессов является создание при университете и организация деятельности инновационно-технологических центров (центров трансфера технологий) и научно-технологических парков, в которых создаются условия для быстрого практического использования инноваций.

Среди инновационно-технологических центров можно выделить наиболее развитые:

ИТЦ «Саратовский подшипниковый завод - Саратовский государственный технический университет» (действует);

ИТЦ «Контакт - Саратовский государственный технический университет» (оборонные разработки) (действует);

ИТЦ «Тантал - Саратовский государственный технический университет» (оборонные разработки) (действует).

«Во многих вузах устарела материальная база, не лучшим образом обстоят дела с преподавательскими кадрами. Источник обновления стоит искать, прежде всего, в передовых высокотехнологичных компаниях. Для развития вузов необходима интеграция не только с компаниями, в т.ч. и зарубежными, но и с зарубежными вузами, привлечение зарубежных преподавателей и участие в программах международных стажировок, причем не только в вузах, но и на зарубежных предприятиях. Необходимо вернуть систему обязательной производственной практики».

Аркадий Владимирович Дворкович

Ухтинский государственный технический университет привычно позиционирует себя как северный форпост российского нефтегазового образования, как крупнейший многопрофильный технический вуз на Европейском Севере России, как вуз трансрегионального значения. И все эти формулировки не только представляют миссию университета, но и с очевидностью воплощают идею стратегического партнерства, без которого были бы невозможны ни само появление вуза, ни его развитие, ни его нынешний статус.

Палитра этого сотрудничества широка и разнообразна. Университет поддерживает партнерские отношения с крупнейшими компаниями топ-

тивно-энергетического комплекса России и всеми их дочерними предприятиями, действующими на территории Республики Коми, с различными предприятиями горнорудной, лесной, строительной промышленности, с научными, научно-исследовательскими, проектными организациями, с образовательными учреждениями — прежде всего в составе Содружества нефтегазовых вузов России, Совета ректоров вузов Республики Коми; с различными государственными службами и общественными организациями. Система партнерства складывалась с момента основания Ухтинского индустриального института, и теперь, когда институт вырос в университет, а потом в крупный университетский комплекс, мы можем с уверенностью утверждать, что эта система эффективна и продуктивна.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники выиграл два гранта. Вуз будет реализовывать совместные проекты с НПФ «Микран» и инженерно-технологическим центром «Сканэкс». Первый – организация производства твердотельных радаров миллиметрового диапазона и создание систем мониторинга выделенных пространственных зон, второй - создание высокотехнологичной отечественной системы мониторинга объектов наземной инфраструктуры, природных процессов и чрезвычайных ситуаций на территории России и соседних государств.

«Одержала победу и заявка Национального исследовательского Томского политехнического университета и ОАО «Кемеровский опытный ремонтно-механический завод». На конкурс был представлен проект создания и производства нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения — геологов»

Четвертый проект, который победил в конкурсе – «Разработка новых технологий получения высокопрочных легких сплавов и металломатричных нанокompозитов на основе алюминия». Он будет совместно реализовываться Томским государственным университетом и научно-производственным объединением «Курганприбор».

Предприятие и высшее учебное заведение являются двумя сторонами образовательного процесса. Вуз — производитель, а предприятие — потребитель специалистов. Поэтому именно от эффективности обратной связи между ними зависит степень соответствия качества подготовки специалистов пожеланиям работодателя, а следовательно, и востребованность выпускника вуза на производстве.

«Требуется тактическое и стратегическое объединение ресурсов обеих сторон. Вузу сложно поддерживать необходимый уровень технического оснащения без дополнительных инвестиций».

Владимир Александрович Соколовский

Список литературы

1. *Ицковиц Г.* Тройная спираль. Университеты — предприятия — государство. Инновации в действии / Пер. с англ.; под ред. А.Ф. Уварова. Томск: Изд-во ТУСУР, 2010. — 238 с.

Интернет-документы

1. Информационный портал «Сибтерра» — URL: <http://sibterra.info/News/2013/4/17/subsidiy>, 20. 03. 2014 г.

2. Президентская программа повышения квалификации инженерных кадров. — URL: <http://engineer-cadry.ru/>, 21.03.2014 г.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСОВ МАКЕТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МИКРОКОНТРОЛЛЕРАМ.

Кудряшов Евгений Александрович¹, Родионов Владислав Сергеевич², Масюк Владимир Михайлович³

¹студент; ²студент; ³доцент, к.ф.-м.н

e-mail: ¹jeksonklg@mail.ru; ²vladik2910@gmail.com; ³masyuk77@mail.ru

Введение. При изучении программирования микроконтроллеров важной частью являются практические занятия. Те идеи и их программная реализация должны быть реализованы в виде прошивки (программы) для микроконтроллера. Одним из вариантов является написание программы, создание hex файла и дальнейшее моделирование в симуляторах. Вторым вариантом – сборка на макетной плате или использование специализированных аппаратных платформ, например Arduino и др. Эти подходы имеют свои достоинства и недостатки: работа в симуляторе часто отличается от реальных процессов: работе в железе. При сборке на макетной плате можно совершить ошибку и сжечь контроллер или подключить что-либо не так. А потом долго искать ошибку, пытаясь понять почему не работает код, хотя проблема то вовсе не в коде. Отличным полигоном для устранения этих проблем является отладочная плата. Это плата где уже все правильно подключено и разведено. Остается только экспериментировать, не отвлекаясь на посторонние факторы. Отладочная плата служит удобным средством для быстрого прототипирования и обкатки узлов, проверке идей и методов. Собрать на демоплате, проверить, что идея работает, подкорректировать как нужно, а после уже отлаженный код использовать в реальном проекте.

Перед нами стояла задача разработать универсальную макетную плату (УМП) для обучения студентов программированию и проверки написанных ими программ.

Для управления какими-либо элементами платы, нам потребуется управляющий модуль с микроконтроллером во главе. Микроконтроллер (МК) – это компьютер на одной микросхеме, предназначенный для управления различными электронными устройствами и осуществления взаимодействия между ними в соответствии с заложеной в микроконтроллер программой. В отличие от микропроцессоров, используемых в персональных компьютерах, микроконтроллеры содержат дополнительные встроенные устройства. Эти устройства выполняют свои задачи под управлением микропроцессорного ядра микроконтроллера.

Мы использовали МК семейства AVR -Atmega8. Для удобства были выведены все порты МК. На рис. 1 вы можете увидеть схему такого модуля, а на рис. 2 готовый модуль.

Наш УМП включает в себя группу светодиодов с отведенным для них разъемом под порты МК. Работа со светодиодами поможет студенту научиться наглядно и быстро обращаться к нужным портам МК. Схема отдела УМП показана на рис. 3.

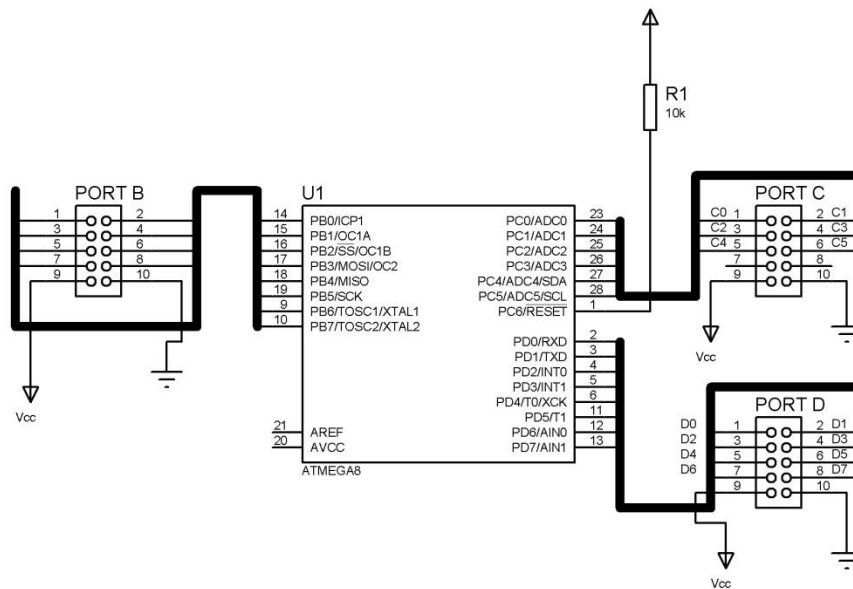


Рис. 1

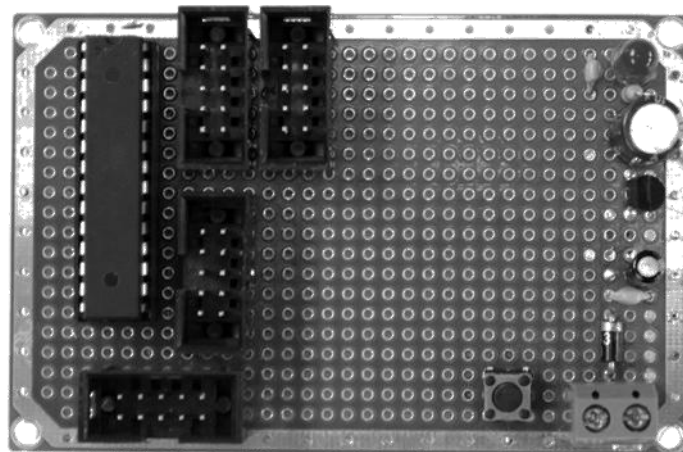


Рис. 2

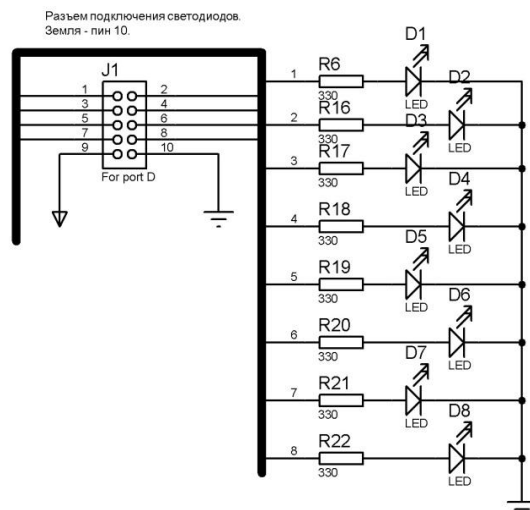


Рис. 3

Кроме одиночных светодиодных индикаторов в микропроцессорных устройствах часто применяют знакосинтезирующие матрицы, которые еще называют цифровыми индикаторами. Простейшим примером цифрового индикатора может служить так называемый семисегментный индикатор. Он широко применяется в самых разных устройствах цифровой техники: от калькулятора и до электронных часов до сложнейших систем управления. Семисегментный индикатор представляет собой матрицу из семи светодиодов продолговатой формы, размещенных таким образом, чтобы, зажигая их в различных сочетаниях, можно было бы отобразить любую десятичную цифру (имеются в виду арабские цифры от 0 до 9). При необходимости можно выводить и шестнадцатеричные цифры. Кроме семи основных сегментов индикатор чаще всего дополняют восьмым маленьким сегментом, который предназначен для отображения десятичной точки (запятой). Расположив в ряд несколько таких индикаторов, можно отображать любое десятичное число с плавающей запятой. Схема представлена на рис. 4.

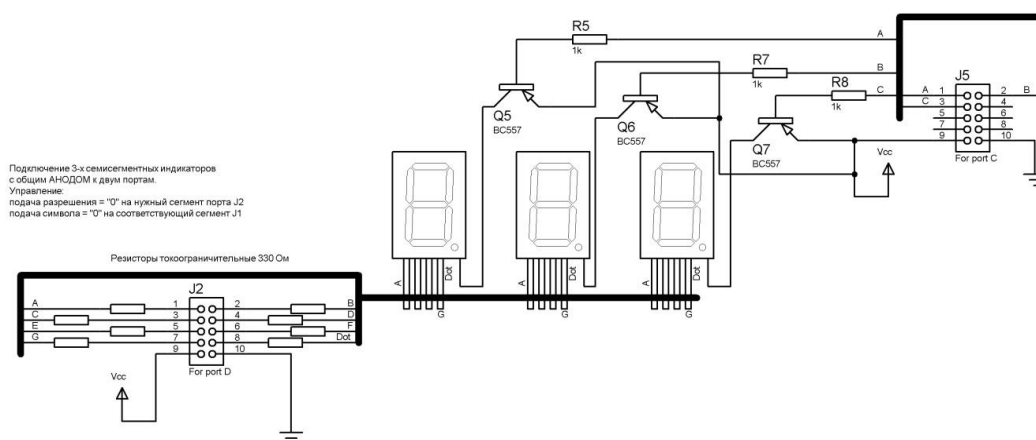


Рис. 4

Любое реальное микропроцессорное устройство редко обходится без кнопок управления. При помощи таких кнопок могут переключаться режимы работы устройства. Если нужно иметь несколько кнопок управления, то можно подключить их к разным входам микроконтроллера. Когда количество кнопок не слишком велико, данный способ их включения – самый рациональный. Однако, если требуется большое количество управляющих кнопок, то тогда просто может не хватить имеющихся выводов.

При необходимости использования достаточно большого количества кнопок (например, цифровой или буквенной клавиатуры), они должны быть организованы в виде матрицы, которая представляет собой набор ключей, объединенных в строки и столбцы (рис. 4). При нажатии любой кнопки строка и столбец замыкаются между собой. Определив их, можно определить код нажатой клавиши (скан-код). Такое сканирование клавиатуры, как правило, реализуется программно. Для чтения состояния определенного ключа на столбец подается сигнал, а затем считывается состояние строк. Матричная клавиатура может быть расширена практически до любого размера, используя при этом небольшое число выводов МК.

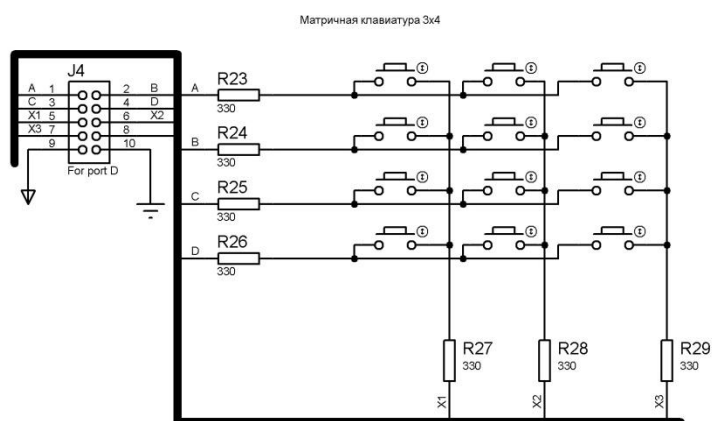


Рис. 5

В настоящий момент полностью разработаны и собраны несколько экземпляров УМП (рис. 6). Они активно используются студентами на лабораторных работах и помогают наглядно увидеть результаты своих программ и понять разницу между симуляторами и реальным железом.

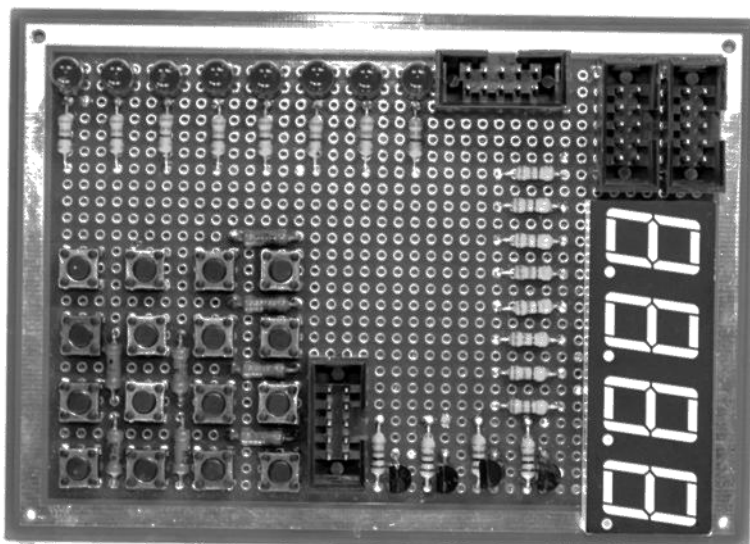


Рис. 6

Список литературы

1. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.1. Пер. с англ.– 4-е изд. и доп. – М.: Мир, 1993.– 413 с., ил.
2. *Евстифеев А.В.* Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя.– М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2007. – 592 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).
3. Datasheet на Atmega8 http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf
4. Datasheet на семи сегментный индикатор E40561-L-O-O-W 1209 6 <http://www.melt.com.ru/docs/LedLamps/E40561-LI.pdf>

ЭЛЕКТРОСХЕМЫ

Карпухин Сергей Андреевич¹, Кирпичникова Нина Николаевна²

¹студент, нет; ²ст. преподаватель, нет

e-mail: ¹serg.carpuxin@yandex.ru; ²galateia@post.ru

Невозможно представить себе современное человечество без всей той массы производства, которую мы имеем сейчас. Заводы, фабрики, целые производственные комплексы и комбинаты – всё это уже давно стало синонимом прогресса и процветания. Настоящий прогресс пришел с изобретением электричества. Электричество за свой непродолжительный срок существования раскрыло перед нами гораздо больше тайн, чем можно себе представить. Достижения промышленности в этой отрасли настолько расширили границы наших способностей, что сделали возможным такое событие, как полет человека к звездам.

В настоящее время электроника – ведущая отрасль промышленности, где результатом миниатюризации компонентов явилась их большая сложность конструкции. Ни один сложный механизм не обходится без технической документации, разъясняющей, как это работает и как устроено. Основной технической документацией для электроприбора является электрическая схема. По своему содержанию различают несколько типов электрических схем. Каждая из них отражает ту или иную техническую сторону электроприбора, отличается по оформлению и используется в разных ситуациях.

Электрические схемы бывают структурные, функциональные, принципиальные, монтажные, топологические и мнемонические, а также существуют кабельные планы.

Структурные электрические схемы - разрабатываются на первом этапе проектирования. Этот вид схем дает общее представление о работе электроустановки. На рисунке 1 представлена структурная схема цифровой электронной вычислительной машины.

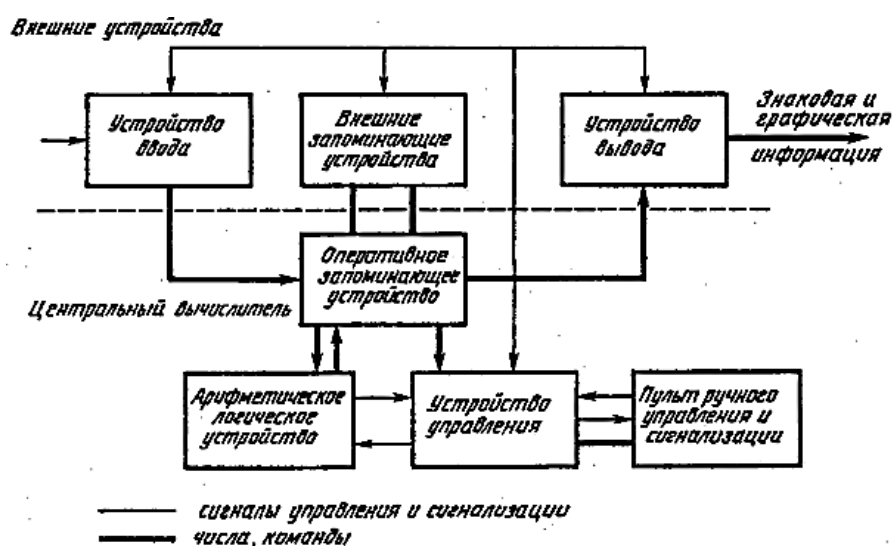


Рис.1

Функциональные электрические схемы — это наиболее общие схемы в отношении уровня абстракции и обычно показывают лишь функциональные связи между составляющими данного объекта и раскрывающими его сущность и дающие представление о функциях объекта, изображённого на данном чертеже (рис.2 — функциональная электрическая схема модуля инвертора). Каких-либо стандартов в изображении условных графических обозначениях этих схем нет. Действуют лишь общие требования к оформлению конструкторской документации связи элементов объекта, а также параметры компонентов, составляющих объект, изображённый на чертеже. Здесь существуют много стандартов как на оформление чертежей, так и на условные графические изображения компонентов. На территории бывшего СССР действует государственный стандарт, однако с появлением принципиально новых компонентов пришлось отступить от стандартов, так как условных изображений просто не существует, поэтому реально наиболее общего стандарта фактически нет. В зарубежных странах приняты стандарты IEC, DIN и ANSI и другие национальные стандарты, но на практике у производителей очень часто используется корпоративные стандарты, однако этот чертёж не учитывает габаритных размеров и расположения деталей объекта.

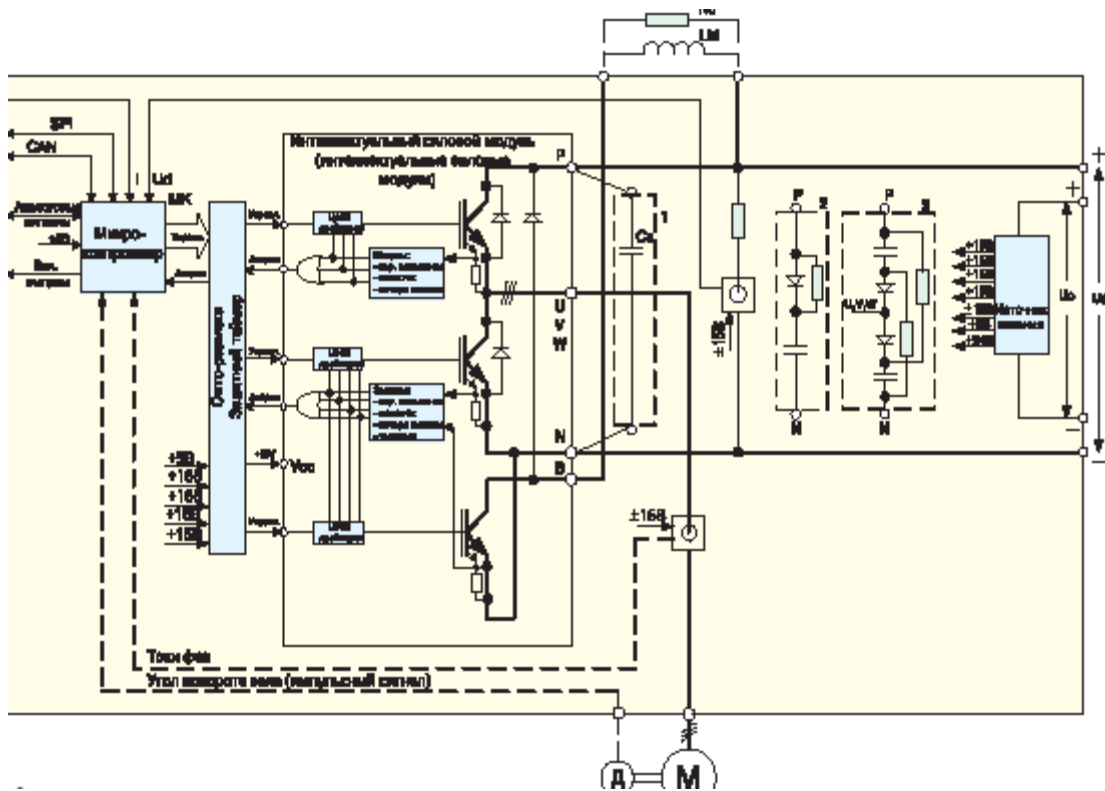


Рис.2

Принципиальные электрические схемы — это чертежи, показывающие полные электрические и магнитные и электромагнитные связи. Эта разновидность схем предназначена в основном для наиболее полного понимания всех процессов, происходящих в цепи или на участке цепи, а также для расчёта параметров компонентов. По уровню абстракции занимают среднее положение между функциональными и монтажными.

Принципиальная схема, в отличие от разводки печатной платы не показывает взаимного (физического) расположения элементов, а лишь указывает на то, какие выводы реальных элементов (рис.3 - микросхема) с какими соединяются. При этом допускается объединение группы линий связи в шины, но необходимо четко указывать номера линий, входящих в шину и выходящих из нее. Использование направленных линий связи, в отличие от структурной и функциональной схем, не допускается. Обычно, при разработке радиоэлектронного устройства, процесс создания принципиальной схемы является промежуточным звеном между стадиями разработки функциональной схемы и проектированием печатной платы.

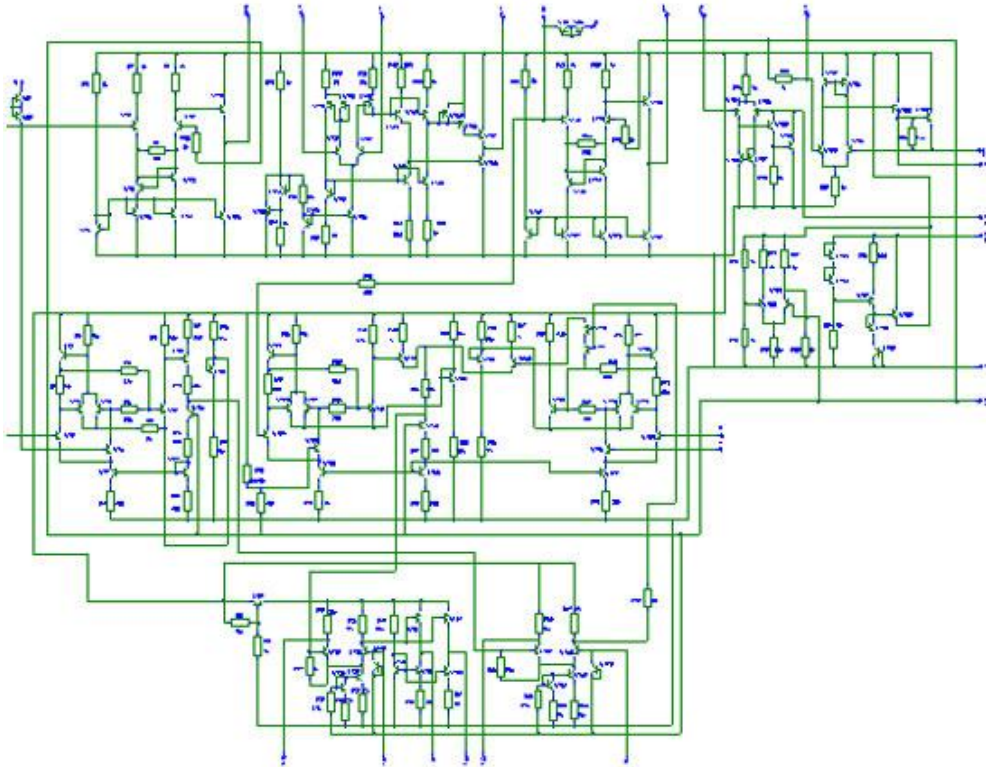


Рис.3

В ГОСТ 2.701-2008 принципиальная схема определяется как, схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия.

Монтажные схемы — это чертежи, показывающие реальное расположение компонентов как внутри, так и снаружи объекта, изображённого на схеме. Предназначены в основном для того, чтобы можно было изготовить объект. Учитывает расположение компонентов схемы и электрических связей (электрических проводов и кабелей). Действуют лишь общие требования к оформлению конструкторской документации.

Топологические электрические схемы — это чертежи, показывающие расположение компонентов изображённого объекта. В микроэлектронике это обычно изображение чертежа микрочипа интегральных микросхем.

Мнемонические схемы — это обычно плакаты с указанием реального состояния действующего положения коммутационной аппаратуры на объекте, над которым совершается управление его режимами. В основном используются в диспетчерских пунктах на энергетических объектах.

В настоящее время активно вытесняется системами компьютерной и компьютеризированными системами управления контроля и сигнализации (SCADA) с функциями ручного управления и принятия решений оператором.

Кабельные планы — это чертежи, показывающие расположение и марки электрических проводов и кабелей. Действуют лишь общие требования к оформлению конструкторской документации.

Развитие компьютерных технологий сегодня предоставляет нам огромные возможности для автоматизации процесса разработки разнообразных механизмов и устройств. Сейчас разработчику для этого достаточно компьютера и специализированного программного обеспечения. А такого ПО становится всё больше и больше, что постепенно раздвигает рамки возможного. Естественно, этот процесс не мог не коснуться и способов разработки электрических схем.

В большинстве случаев на производстве ведется разработка преимущественно двух типов электрических схем: принципиальных и монтажных. Большинство современных сред для разработки технических схем сегодня уже стали универсальными, достаточно лишь установить пакет необходимых дополнений. Однако главное отличие электрических схем от всех остальных в том, что они больше всех поддаются математическим расчетам. При создании принципиальной схемы, например, главенствующую роль играют именно расчеты параметров компонентов, что можно сделать при помощи средств компьютера. Именно поэтому для разработки принципиальных схем сейчас существуют огромное количество всевозможных САПР. Это программы для создания разводки печатных плат и системы проверки работоспособности еще на стадии проектирования.

Список литературы

1. *Чекмарев А.А.* Начертательная геометрия и черчение. — М.: ВЛАДОС, 2005. — 349 – 368с.
2. Схемы АПВ в электрических сетях. Использование емкостного отбора напряжения: практическое пособие. Под ред. *Алексеева Б.А.*- ЭНАС. 2002: 80 с. (Электронно-библиотечная система «Издательства «Лань»).
3. *Лаврищев И.Б. Кириков А.Ю. Добряков В.А.* Разработка принципиальных электрических схем систем управления процессами пищевых производств. СПбНИУ ИТМО. 2002. 38 с. (Электронно-библиотечная система «Издательства «Лань»).

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 13.	
ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ	3
<i>Бауков И.А., Сероштан В.И.</i> Общие принципы построения экспертной системы оценки работоспособности грузоподъемных машин	4
<i>Рыжкова А. Д., Шубин А. А.</i> Сравнительный анализ возможных методов установки опор контактной сети на железной дороге	9
<i>Хомутов П.В., Шубин А.А.</i> Замена и укладка стрелочных переводов с применением укладочного крана УК-25/28СП	13
<i>Плахова Е.А., Заярный С.Л.</i> Специализированный башенный кран для малоэтажного строительства	16
<i>Подгорбунский В.А., Сероштан В.И., Орехов Н.А.</i> Оценка работоспособности металлоконструкций грузоподъемных машин при наличии усталостных трещин	20
<i>Бауков И.А., Борискина З.М., Витушкина Е.А.</i> Анализ режимов движения качающихся вибрационных конвейеров	34
<i>Бачкала Т.А. Заярный С.Л.</i> Механический стационарный кран для малоэтажного строительства.....	39
<i>Федин Р.А., Ермоленко В.А.</i> Защита металлоконструкций кранов от коррозии.....	43
<i>Федоров А.В., Витчук П.В.</i> Установка для исследования тяговой способности лифтового канатоведущего шкива ...	49
<i>Фомин А.А., Заярный С.Л.</i> Определение коэффициента контактной касательной податливости гидростатического соединения	52
<i>Павин Н.Д.</i> Выявление повреждений металлоконструкций кранов с использованием радионуклидов.....	58
<i>Потапов Д.В., Заярный С.Л.</i> Легкие козловые краны	62
СЕКЦИЯ 14.	
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	65
<i>Осмоловский К.Е., Кузнецова А.А., Горбунов А.К.</i> О непараметрическом оценивании некоторых информационных функционалов.....	66
<i>Осмоловский К.Е., Горбунов А.К.</i> Применение теории информации в одной модели метода случайного баланса	69
<i>Пузанова Е.Д., Горбунов А.К.</i> Выбор кодов для обнаружения ошибок в системах с решающей обратной связью.....	72
<i>Пузанова Е.Д., Горбунов А.К.</i> Оценка структуры по изменению усредненной энтропии	75
<i>Пузанова Е.Д., Горбунов А.К.</i> О пропускной способности канала с большим аддитивным шумом	78

<i>Волчѐнков Д.Н., Кузнецова А.А., Горбунов А.К.</i> О применении матричных производящих функций к оценке верности передачи информации	81
<i>Волчѐнков Д.Н., Кузнецова А.А., Горбунов А.К.</i> О стоимости передачи сообщений по каналу без шума	84
<i>Волчѐнков Д.Н., Синякова М.А., Горбунов А.К.</i> Использование модели составного источника для сглаживания изображений	87
<i>Аннадурдыев М.Ш., Кузнецова А.А., Горбунов А.К.</i> Статистические выводы о сигналах в условиях марковских помех.....	91
<i>Аннадурдыев М.Ш., Горбунов А.К.</i> Адаптивное распознавание образов на основании наблюдения связанных с ними случайных сигналов	94
<i>Маслов Е.В., Радченко И.Н.</i> Определение коэффициентов распределения кислорода и углерода в процессе роста мультикристаллического кремния.....	97
<i>Абдурахманов А.Ш., Горбунов А.К.</i> Построение оценки максимального правдоподобия для искаженных дискретных последовательностей с ограничениями марковского типа.....	100
<i>Абдурахманов А.Ш., Горбунов А.К.</i> Состоятельные линейные регрессионные оценки.....	104
<i>Корабельникова Ю.В., Горбунов А.К.</i> Асимптотическая эффективность оценок наибольшего правдоподобия в усеченных выборках.....	108
<i>Корабельникова Ю.В., Горбунов А.К.</i> Обнаружение сигналов на фоне немарковских помех и обесвечивающие фильтры.....	112
<i>Упоров Е.И., Синякова М.А., Горбунов А.К.</i> Помехоустойчивое хранение информации в памяти, работающей с ошибками	115
<i>Мальцев Н.Е., Горбунов А.К.</i> Оптимальное деквантование на выходе квантовых каналов в гауссовском случае	118
<i>Мальцев Н.Е., Горбунов А.К.</i> Оптимальные измерения параметров квантовых сигналов.....	121
<i>Мальцев Н.Е., Горбунов А.К.</i> Об оценках фазы сигнала в гауссовском белом шуме.....	124
<i>Прокофьев М.Л., Горбунов А.К.</i> Оценка параметра сигнала в гауссовском белом шуме	127
<i>Сорокин А.В., Крицкая А.Р., Силаева Н.А.</i> Физические основы термоэлектрических явлений и их использование в промышленности	130
<i>Прокофьев М.Л., Горбунов А.К.</i> Выделение сигнала с параметром в виде марковского процесса на фоне случайной совокупности ложных сигналов.....	137
СЕКЦИЯ 15. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И СИСТЕМЫ; ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	140
<i>Бердыев Д.Д., Володин И.А., Зырянова А.В.</i> Исследование фазизирующих свойств циклических кодов.....	141
<i>Лавренко Ю.Н., Комарцова Л.Г.</i> Осциллирующая нейронная сеть для исследования сложных систем	144

СЕКЦИЯ 16.	
ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ	148
<i>Васин П.А., Емельянов А.В.</i>	
Задача о равновесии и движении одной механической системы	149
<i>Нестеров А.В., Астахов М.В.</i>	
Об особенностях применения металло-композитных соединений в машиностроении	153
<i>Галенко Н.Е., Зотова Е.А., Зуев Е.С.</i>	
Построение эпюр внутренних силовых факторов в конечноэлементном комплексе MSC PATRAN-NASTRAN	156
<i>Пащенко В.В., Царьков А.В.</i>	
Методика проведения численных экспериментов при исследовании НДС труб под давлением.....	160
<i>Щербакова С.В., Бобышева Г.М.</i>	
Качение жесткого и упругого дисков при трении в контакте.....	167
<i>Сорокин С.П., Зенкина И.А.</i>	
Нахождение орбиты земли с помощью системы дифференциальных уравнений.....	175
<i>Короткова В.Е., Галемин Е.К.</i>	
Особенности дифференциальных механизмов.....	180
<i>Абдурахманов А.Ш., Емельянов А.В.</i>	
Задача о равновесии и движении доски, опирающейся на два катка разного диаметра ...	183
<i>Тарасов Е.В., Мальшев А.В.</i>	
Построение регрессионных моделей с помощью ЭВМ на примере фрезерования титановых сплавов	188
<i>Липихин Е.Г., Мальшев А.В.</i>	
Применение закона нормального логарифмического распределения для оценки стойкости режущего инструмента при лезвийной обработке крупных кольцевых заготовок	199
СЕКЦИЯ 17.	
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС	207
<i>Романова Е.И., Сулина О.В.</i>	
Оптимальная настройка параметров системы компас для создания учебных чертежей по инженерной графике	208
<i>Логвинов А.А., Коренвайн Н.П.</i>	
Технологические особенности сборочных процессов и их отражения на чертеже.....	212
<i>Силаков И.С., Сломинская Е.Н.</i>	
Графический дизайн некоммерческих сайтов.....	215
<i>Ливашов А.М., Зыбин И.Н.</i>	
Об истории появления резьбы и резьбовых крепежных деталей	218
<i>Сидоров П.М., Сахаров В.В.</i>	
Способы получения резьбы.....	221

<i>Андросов А.Ю., Кирпичникова Н.Н.</i> Схема - конструкторский документ	225
<i>Исаев А.А., Комарцов О.М.</i> Задача повышенной сложности по курсу «начертательная геометрия» для самостоятельного решения.....	233
<i>Гавриков А.В., Никольский В.В.</i> Информационные технологии на базе компьютерных средств обучения.....	237
<i>Толоконников В.Э., Терских А.О., Сломинская Е.Н.</i> К вопросу интеграции науки, образования и инновационной деятельности	242
<i>Кудряшов Е.А., Родионов В.С., Масюк В.М.</i> Разработка комплексов макетных плат для проведения лабораторных работ по микроконтроллерам.....	246
<i>Карпухин С.А., Кирпичникова Н.Н.</i> Электросхемы.....	251
СОДЕРЖАНИЕ	256

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗе**

**Материалы
Региональной научно-технической конференции**

Том 3

Научное издание

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 12.04.2014.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 16,375. Усл. п. л. 15,228. Тираж 50 экз. Заказ № 112

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.003961.04.08 от 22.04.2008 г.

Оригинал-макет и отпечатан в Редакционно-издательском отделе
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87

ISBN 978-5-7038-3958-4

