Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту

№ 4
січень
2007

Науковий журнал

Засновник:
Донецький інститут
автомобільного транспорту

Видавець:
ТОВ «Дончанка-інформ»
Адреса: 83000, м. Донецьк,
вул. Горького, 146.

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей.

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Донецького інституту автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номеру друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
83086, м. Донецьк,
пр. Дзержинського, 7
Тел. (062) 345-29-49
E-mail: donak@etel.dn.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецького інституту автомобільного транспорту.
Протокол № 5 від 31.01.2008 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор
Енглезі І.П., *ректор ДІАТ, канд. техн. наук*

Члени редколегії:
Бєлов Ю.В., *канд. техн. наук, доцент*
Бєлоусов В.В., *д-р техн. наук, професор*
Вербицький В.Г., *д-р фіз.-мат. наук, професор*
Вовк Л.П., *д-р техн. наук, професор*
Головченко І.П., *канд. техн. наук, доцент*
Горожанкін С.А., *д-р техн. наук, професор*
Доля В.К., *д-р техн. наук, професор*
Жирнов А.А., *канд. техн. наук, доцент*
Заренбін В.Г., *д-р техн. наук, професор*
Казанцев Є.І., *д-р техн. наук, професор*
Криводубський О.О., *канд. техн. наук, доцент*
Лук'янченко Н.Д., *д-р економ.. наук, професор*
Макаров В.А., *канд. техн. наук, доцент*
Макогон Б.П., *канд. фіз.-мат. наук, доцент*
Міщенко М.І., *д-р техн. наук, професор*
Муромець Н.Є., *канд. економ. наук, доцент*
Поліщук В.П., *д-р техн. наук, професор*
Сахно В.П., *д-р техн. наук, професор*
Спорихін В.Я., *д-р техн. наук, професор*
Сунцов М. В., *д-р хім. наук, професор*
Тернов С.О., *канд. техн. наук, ст.н.с.*

Відповідальний секретар
Столяренко М.О., *канд. техн. наук*

Коректор
Задунайська О.В.

Технічний редактор
Пахно О.Є.

ВІСНИК ДОНЕЦЬКОГО ІНСТИТУТУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ
Науковий журнал

Засновник:
Донецький інститут автомобільного транспорту

Видавець:
ТОВ «Дончанка-інформ»
Адреса: 83000, м. Донецьк,
вул. Горького, 146.

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей.

В журнал увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Донецького інституту автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номеру друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
83086, м. Донецьк,
пр. Дзержинського, 7
Тел. (062) 345-29-49
E-mail: donak@etel.dn.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецького інституту автомобільного транспорту.
Протокол № 5 від 31.01.2008 р.
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ №7148 від 01.04.2003 р.,
видане Держкомітетом інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України

Журнал включено до **Переліку №16 наукових фахових видань України**, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Бюл. ВАК України, №9, 2005)

Підписано до друку Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 7 Наклад 300 прим.
Замовлення №

Віддруковано у друкарні «ЮрСервіс»
83000, м. Донецьк, вул. Артема, 97
Тел.: (062) 387-20-31.

© **Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту, 2007**

Зміст

Транспортні технології

Полтавец В.В. **Анализ методов и алгоритмов решения задачи синтеза металлообрабатывающего инструмента модульной конструкции в ремонтном производстве** **4**

Хмелевой С.В., Скобцов Ю.А. **Исследование функций принадлежности нечетких логических контроллеров применительно к задачам аппроксимации, прогнозирования и классификации** **11**

Столяренко М.А. **Проблемы повышения эффективности транспортных систем** **20**

Криводубский О.А., Селякова С.М. **Разработка структуры автоматизированной системы управления уборочно-транспортными работами** **23**

Транспорт і двигуни внутрішнього згоряння

Важев А.Я., Чухаркин А.В. **Исследование и сравнение характеристик двигателей внутреннего сгорания на базе циклов Отто и Аткинсона**. **32**

Волохов А.С., Вербицкий В.Г., Макаров В.А. **Построение математической модели легкового автомобиля с учетом взаимовлияния продольных и поперечных сил в пятне контакта колес** **38**

Лукичев А. В., Сотников А.Л. **Современные системы диагностирования технологического оборудования на АТП** **44**

Мойся Д.Л. **Анализ устойчивости стационарных состояний трехзвенного автопоезда с промежуточным звеном, имеющим опорную ось**. **50**

Федоров Е.Е. **Структура и функциональные особенности вербальной системы управления автомобилем** **60**

Автори номеру **72**

Правила подання та оформлення статей **73**

УДК 621.9.02/681.3.06

ПОЛТАВЕЦ В.В., к.т.н., доц.,
Донецкий институт автомобильного транспорта

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Исследована возможность применения основных методов принятия решений в качестве методического обеспечения автоматизированного решения задачи синтеза модульного металлообрабатывающего инструмента. Сформулированы принципиальные требования к системам искусственного интеллекта и эволюционным методам, которые могут быть использованы при решении указанной задачи.

Постановка проблемы

Выполнение операций механической обработки в условиях ремонтных предприятий и ремонтных подразделений транспортных предприятий по признаку характера выпускаемой продукции относится к единичному, в лучшем случае — к мелкосерийному производству и характеризуется многономенклатурностью изделий, причем эти изделия отличаются исключительным разнообразием конструктивных и технологических признаков. Такого рода работы производятся, в частности, на авто- и судоремонтных заводах, в ремонтных цехах автотранспортных предприятий, стационарных и передвижных мастерских по ремонту сельскохозяйственной и военной техники, вагоноремонтных и локомотивных депо на железнодорожном транспорте, в судовых мастерских гражданского и военного флота. При этом одним из наиболее сложных элементов технологической подготовки производства является решение задач инструментального обеспечения производственного процесса.

Повсеместное внедрение средств вычислительной техники на производственных и транспортных предприятиях открыло широкие возможности для автоматизации решения технологических задач, в том числе задачи выбора оптимального или рационального металлообрабатывающего инструмента.

В общем случае задача выбора инструмента для реализации технологического процесса изготовления или восстановления данной детали включает три подзадачи:

1) выбор способа обработки, т.е. способа формообразования заданной поверхности;

2) выбор типа инструмента, необходимого для осуществления данного способа обработки;

3) выбор структуры и параметров инструмента данного типа (структурный и параметрический синтез металлообрабатывающего инструмента).

Анализ последних достижений

Первая и вторая подзадачи тесно связаны между собой, относительно легко формализуются и решаются по сходным алгоритмам [1, 2]. Их решение без существенных затрат времени может производиться технологом неавтоматизированным способом, причем одним из наиболее важных факторов, ограничивающих область возможных решений, является наличие на предприятии оборудования, на котором возможно осуществить обработку заданной поверхности.

Наиболее сложна для формализации и наиболее трудоёмка третья подзадача. Её решение занимает основную часть времени, затрачиваемого на выбор инструмента, и происходит в диалоговом режиме при активной работе технолога с информационными фондами по

инструменту, имеющимися на предприятии: справочниками и каталогами инструментов, соответствующими базами данных в САПР технологических процессов и т.п.

Эта подзадача, сводящаяся, по сути, к задачам структурного и параметрического синтеза металлообрабатывающего инструмента, приобрела особую актуальность в последнее время в связи с широким внедрением модульных конструкций инструмента. В перспективе модульный и сборный инструмент для многих видов обработки полностью вытеснит неразборный, особенно в ремонтном производстве. Уже в настоящее время номенклатура инструментов и их элементов, предлагаемых ведущими инструментальными фирмами, насчитывает сотни единиц и сложна для восприятия и использования в ремонтном производстве.

Цель статьи

Целью данной работы является рассмотрение возможности применения в качестве методологической базы для автоматизированного решения задачи синтеза металлообрабатывающего инструмента существующих методов принятия решений. На основе такого исследования можно разделить применяемые в технике методы по степени предпочтительности на современном этапе развития инструментального обеспечения.

Для тех методов, которые окажутся более рациональными, следует сформулировать требования принципиального характера, обусловленные необходимостью их использования в реальных производственных условиях.

Основной раздел

Рассматриваемая задача структурного и параметрического синтеза на практике сводится к нахождению наиболее подходящих для данной технологической операции или данного технологического перехода совокупности элементов, образующих модульную конструкцию инструмента, и совокупности значений параметров его режущей части из множества возможных сочетаний этих элементов и значений параметров. Неавтоматизированное решение указанной задачи требует высокой квалификации технолога, проектирующего процесс механической обработки, применения в процессе проектирования справочной литературы и иных информационных ресурсов. Это ведет к неоправданным затратам времени и средств, а, соответственно, к удорожанию изготавливаемых или восстанавливаемых деталей. В то же время, невыполнение указанных выше требований может привести либо к выбору нерациональной конструкции инструмента (что, опять-таки, повлечет за собой увеличение себестоимости детали), либо к получению после обработки детали, имеющей отступления от требуемых значений технических характеристик (что повлечет снижение или даже потерю её функциональности).

Автоматизация решения данной задачи позволит уменьшить или вообще исключить участие в этом решении высококвалифицированного инженерного персонала, что особенно актуально для небольших ремонтных предприятий. Математической базой для автоматизации решения задачи структурного и параметрического синтеза инструмента являются известные методы принятия решений [3, 4]:

1. Метод морфологического анализа, основанный на составлении морфологических таблиц или графов, которые содержат описания функций синтезируемого объекта.

2. Методы дискретного математического программирования.

3. Использование систем искусственного интеллекта в форме продукций, фреймов, семантических сетей, экспертных систем.

4. Эволюционные методы.

Метод морфологического анализа для автоматизации синтеза инструмента практически не используется, так как построение на его основе алгоритмов синтеза требует метризации морфологического пространства [5], а методологический подход к такой метризации

применительно к металлообрабатывающему инструменту до настоящего времени разработан не в полном объеме.

Применение для решения рассматриваемой задачи методов математического программирования затруднено по двум причинам. Во-первых, для большинства видов инструмента проблематично сформировать целевую функцию приемлемой сложности, включающую все подлежащие определению параметры. Во-вторых, наличие целевой функции не гарантирует существования алгоритма решения задачи математического программирования или его эффективности, поскольку задача синтеза инструмента в соответствии с теорией сложности может быть отнесена к классу NP-полных задач [6].

Системы искусственного интеллекта требуют наличия трех обязательных элементов: базы данных, включающей сведения о базовых элементах структуры объекта; базы знаний, содержащей правила конструирования вариантов структуры; интерпретатора, устанавливающего последовательность применения правил из базы знаний [7]. Данные об элементах структуры объекта представляются в одной из трёх характерных форм. Такими формами могут быть продукции, фреймы, семантические сети. При этом различные формы представления данных могут пересекаться: к примеру, вершинами семантической сети могут быть продукции или фреймы [8].

С математической точки зрения фреймами, включающими сведения, которые получены методом экспертного оценивания, являются технологические таблицы, содержащие характеристики режущих частей инструментов, и качественные оценки этих характеристик в различных системах оценивания.

Первоначально качественная оценка характеристик проводилась только по двум значениям: «подходит для данных условий» и «не подходит для данных условий». Такая система в силу своей жесткости оказалась неэффективной в реальных условиях машиностроительного и ремонтного производства и была впоследствии заменена на системы, включающие от 4 до 8 ступеней оценок. В качестве примера рассмотрим технологическую таблицу с характеристиками сменных неперетачиваемых режущих пластин для токарного инструмента производства ФРГ [9]. Эта таблица содержит 6 градаций оценок каждой характеристики (табл. 1):

5 — оптимально подходит для данных условий;

4 — хорошо подходит для данных условий;

3 — удовлетворительно подходит для данных условий;

2 — недостаточно эффективно в данных условиях;

1 — малоэффективно в данных условиях;

0 — непригодно для использования в данных условиях.

В приведенной таблице учтены только технологические возможности материала сменных неперетачиваемых пластин. Применительно к таким пластинам таблицы аналогичного вида могут быть составлены для формы пластин, геометрических параметров (углов установки и заточки), способа крепления пластины на режущей части, способа смены пластины, вида крепления режущей части к державке и т.п.

Выбор материала на основании табл. 1 и иных параметров на основании аналогичных таблиц выполняется путем суммирования значений оценок технологических признаков для возможных в данном случае обработки вариантов значений параметров и принятии в качестве окончательного варианта с наибольшей суммарной оценкой.

Из рассматриваемого примера видно, что использование технологических таблиц при автоматизированном синтезе инструмента требует значительной подготовительной работы по качественному оцениванию характеристик инструмента или его режущей части. Такая работа может быть выполнена высококвалифицированными специалистами в данной предметной области (т.е. экспертами) на основе имеющихся справочных данных, производственного опыта, неформальных рекомендаций, а также, возможно, проведения дополнительных исследований.

Отдельные элементы структурированной информации об инструменте в форме продукций и фреймов уже содержатся в справочной литературе и фирменных каталогах [2, 10, 11], однако доля структурированной информации по сравнению с неструктурированной для модульного инструмента пока что невелика.

Отметим, что наибольшее внимание до последнего времени при решении задачи синтеза инструмента модульной конструкции уделялось формированию баз данных, в то время как работы по формированию базы знаний для большинства типов инструмента ведутся относительно недавно. Это обусловлено тем фактом, что теоретическими разработками в данной области исследователи занялись последние 10–15 лет и общая теория синтеза структуры модульного инструмента пока отсутствует.

Несомненным достоинством использования систем искусственного интеллекта является удобство интеграции полученных экспертным оцениванием данных в информационное обеспечение САПР технологических процессов механической обработки, внутренние или внешние базы данных с возможностью использования при автоматизированном выполнении проектных процедур, необходимых для синтеза металлообрабатывающего инструмента.

Таблица 1

Технологические характеристики материала сменных неперетачиваемых режущих пластин для токарного инструмента производства ФРГ [9]

Наименование технологического признака	Оценка технологического признака							
Тип обрабатываемого материала:								
– углеродистая конструкционная сталь	4	1	4	4	1	4	3	2
– быстрорежущая сталь	3	5	3	3	5	3	2	3
– коррозионно-стойкая сталь	1	1	3	3	1	3	1	4
– мягкие сплавы (на основе Al и Cu)	1	0	2	2	0	2	0	3
– твердые материалы (HB > 400)	2	4	2	3	5	3	4	3
Способность к разрушению материала и удалению стружки:								
– чистовая обработка (подача S = 0,1–0,3 мм/об, глубина резания t = 0,5-2 мм)	4	0	2	2	0	2	2	4
– получистовая обработка (подача S = 0,2–0,5 мм/об, глубина резания t = 2–4 мм)	5	0	3	3	0	3	3	3
– черновая обработка (подача S = 0,4–1,0 мм/об, глубина резания t = 4–8 мм)	4	1	2	3	1	3	3	1
– черновая обработка (подача S>1,0 мм/об, глубина резания t>8 мм)	1	3	0	0	3	0	3	0
Обработка с прерыванием процесса резания	2	3	2	2	4	3	4	3
Наличие вибраций	1	1	3	3	1	2	0	5
Ограниченная мощность станка	1	1	3	3	1	3	1	5

Эволюционные методы предназначены в основном для поиска предпочтительных (рациональных) решений и основаны на статистическом подходе к исследованию ситуаций и итерационном приближении к искомому состоянию синтезируемых объектов. В отличие от точных методов математического программирования эволюционные методы при той

же сложности решаемой задачи позволяют находить решения, близкие к оптимальным, за приемлемое время [12].

Универсальность эволюционных методов определяется также применимостью к задачам с неметризуемым пространством управляемых переменных (это означает, что среди управляемых переменных могут быть и лингвистические вида «хорошо», «плохо», «не очень хорошо»).

Важнейшим частным случаем эволюционных методов являются генетические алгоритмы, которые основаны на поиске лучших решений с помощью процедуры наследования и усиления полезных свойств множества объектов определенной предметной области в процессе имитации их эволюции [13].

Свойства объектов представлены значениями параметров, объединяемыми в запись, называемую хромосомой. В генетических алгоритмах оперируют хромосомами, относящимися к множеству объектов — популяции. Имитация генетических принципов — вероятностный выбор родителей среди членов популяции, скрещивание их хромосом, отбор потомков для включения в новые поколения объектов на основе оценки целевой функции — ведет к эволюционному улучшению значений целевой функции от поколения к поколению [14].

Задача поиска решения с использованием генетических алгоритмов требует выполнения следующей последовательности действий:

1) выделение совокупности свойств объекта, характеризуемых внутренними параметрами и влияющих на его полезность (выделение множества управляемых параметров $X=(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)$;

2) формулирование количественной оценки полезности вариантов объекта — функции полезности F. Если в исходном виде задача многокритериальная, то такая формулировка означает выбор скалярного (обобщенного) критерия;

3) разработка математической модели объекта (составление алгоритма вычисления F для заданного вектора X);

4) представление вектора X в форме хромосомы — записи следующего вида

$$(X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n),$$

где $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$ — значения управляемых параметров $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$.

Отметим, что среди управляемых параметров xi могут быть величины различных типов (действительные, целые, логические (булевы), перечислимого типа (enumerical)). Такое разнообразие типов обусловливает возможность применения генетических алгоритмов при решении задач и структурной, и параметрической оптимизации.

В генетических алгоритмах используется следующая терминология:

ген — управляемый параметр x_i;

аллель — значение гена;

локус (позиция) — позиция, занимаемая геном в хромосоме;

генотип — экземпляр хромосомы, генотип представляет совокупность внутренних параметров синтезируемого с помощью генетического алгоритма объекта;

генофонд — множество всех возможных генотипов;

функция полезности (приспособленности) — целевая функция;

фенотип — совокупность генотипа и соответствующего значения функции полезности, под фенотипом часто понимают совокупность выходных параметров синтезируемого объекта.

Решение задачи синтеза объекта с помощью генетических алгоритмов начинается с генерации исходного поколения — множества, включающего N хромосом, N – размер популяции. Генерация выполняется случайным выбором аллелей каждого гена.

Далее организуется процесс смены поколений. В наиболее простом генетическом алгоритме он выполняется следующим образом (рис. 1).

```
k := 1;
while (k < G) do
            begin
                  j := 1;
                  while (j < N) do
                        begin
                              Выбор родительской пары хромосом;
                              Кроссовер;
                              Мутации;
                              Оценка функции полезности F потомков;
                              Селекция потомков;
j := j + 1;
                        end
                  k := k + 1;
            end.
```

Рис. 1. Схема простого генетического алгоритма, реализованного средствами алгоритмического языка Pascal

Процедура выбора родительской пары хромосом имитирует естественный отбор, если отбор в родительскую пару хромосом с лучшими значениями функции полезности *F* более вероятен.

Процедура кроссовера (кроссоверинга), заключается в передаче участков генов от родителей к потомкам. При простом (одноточечном) кроссовере хромосомы родителей разрываются в некоторой позиции, одинаковой для обоих родителей, причем выбор места разрыва равновероятен. Далее происходит рекомбинация образующихся частей родительских хромосом. В более сложных генетических алгоритмах встречается многоточечный кроссовер.

Процедура мутации выполняется с некоторой вероятностью $p_м$, т.е. с вероятностью $p_м$ происходит замена аллеля случайным значением, выбираемым с равной вероятностью в области определения гена. Благодаря мутациям расширяется область генетического поиска.

Процедура селекции заключается в том, что после каждого акта генерации пары потомков в новое поколение включается лучший экземпляр пары (с лучшим значением функции полезности *F*).

Внутренний цикл заканчивается, когда число экземпляров нового поколения станет равным *N*. Количество повторений *G* внешнего цикла чаще всего определяется автоматически по появлению признаков вырождения или стагнации популяции (значение функции полезности ухудшается или стабилизируется), но с условием непревышения заданного лимита машинного времени (для предотвращения зацикливания).

Анализируя схему простого генетического алгоритма (см. рис. 1) и описания входящих в него процедур, можно сделать вывод, что наиболее сложна для формализации процедура выбора родительской пары хромосом. Эффективность генетических алгоритмов значительно повышается, если уже при выполнении этой процедуры значение функции полезности F будет не средневероятностным, т.е. соответствующим не случайному генотипу, а одному из «хороших», если не лучших его вариантов.

Поскольку указанная процедура при реализации генетических алгоритмов выполняется в самом начале цикла, то наиболее простым с технической точки зрения способом повышения эффективности использования таких алгоритмов при синтезе инструмента будет непосредственное участие технолога в выборе родительских вариантов генотипа. Таким образом, при ограниченном участии в выполнении генетических алгоритмов технолог своим первоначальным выбором задает направление селекционного процесса, но не расходует время на анализ всех синтезируемых программным путем вариантов.

Выводы

1. Методы морфологического анализа и математического программирования могут использоваться в качестве методологической основы автоматизированного решения задачи синтеза металлообрабатывающего инструмента только в ограниченных областях существования метрического морфологического пространства или наличия эффективных методов решения задачи.

2. Использование систем искусственного интеллекта и эволюционных методов не обеспечивает перехода от автоматизированного синтеза структуры и параметров инструмента к автоматическому на этапе инструментального обеспечения производственного процесса. Участие технолога в выполнении отдельных проектных процедур является желательным или обязательным.

3. Формирование баз данных для систем искусственного интеллекта при автоматизированном синтезе инструмента требует значительной подготовительной работы по качественному и количественному оцениванию элементов конструкции и характеристик инструмента или его режущей части. Эта работа должна проводиться методом экспертного оценивания указанных величин высококвалифицированными специалистами, а результаты оценивания желательно представлять в метрическом виде.

4. Эволюционные методы, в частности генетические алгоритмы, применимы при решении наиболее широкого круга задач структурного и параметрического синтеза инструментов, но эффективность этих алгоритмов существенно зависит от субъективных факторов – точности составления математической модели объекта и качества инициирования селекционного процесса при выборе технологом первоначального набора значений управляемых параметров.

Список литературы

1. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства/ В.А. Гречишников, А.Р. Маслов, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе. — М.: Высшая школа, 2001. — 272 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова и др. Под общ. ред. А.М. Дальского. — М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.

3. Беллман Р., Заде Л.А. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М.: Мир, 1976. — 215 с.

4. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов/ С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Синицын. Под общ. ред. С.Н. Корчака. — М.: Машиностроение, 1988. — 352 с.

5. Одрин В.М. Метод морфологического анализа технических систем. М.: ВНИИПИ, 1989. — 311 с.

6. Wilf Herbert S. Algorithms and Complexity. — Philadelphia: University of Pennsylvania, PA19104–6395. — Internet Edition, Summer, 1994. — 139 p.

7. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. — М: Радио и связь. 1990. — 264 с.

8. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем. — Баку: Чашиоглу. 2001. — 720 с.

9. Шпур Г., Краузе Ф.-Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1988. — 648 с.

10. Kennametal Hertel AG. Hauptcatalog 2001. Werkzeuge für Drehmaschinen. — Printed in Fed. Rep. of Germany, 2001. — 822 p.

11. ISCAR LTD. Общий каталог: Весь ассортимент металлорежущего инструмента. — Printed in Israel 10/2005. — 1162 с.

12. Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М. Эвоинформатика. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Наука, 1991. — 206 с.

13. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. — Таганрог: изд-во ТРТУ, 1998. — 242 с.

14. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы/ Под ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2006. — 319 с.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2007 р.

УДК 681.3

ХМЕЛЕВОЙ С.В., м.н.с., СКОБЦОВ Ю.А., д.т.н., проф.,
Донецкий Национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ АППРОКСИМАЦИИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Модифицирован алгоритм нечеткого вывода базы знаний на основе нечетких логических контроллеров с возможным использованием произвольной функции принадлежности. Произведен анализ применимости основных функций принадлежности для данной базы знаний на задачах аппроксимации, прогнозирования и классификации. Получены рекомендации к построению функций принадлежности применительно к этим задачам для достижения наилучшей точности результата.

Введение и постановка проблемы

В автомобильной индустрии часто возникают задачи, требующие решения задачи аппроксимации и задач, приводимых к задаче аппроксимации (классификации, прогнозирования). Зачастую требуется не просто получить результат, а получить его в понятной и объяснимой форме. Одним из самых естественных подходов для достижения этой цели является создание набора правил. Эффективным механизмом для автоматического создания такого набора является аппарат генетических алгоритмов. Из всех видов представления правил для создания базы знаний наибольшей гибкостью обладают нечеткие правила, представленные в виде нечетких логических контроллеров (fuzzy logic controllers, FLC). Системы, использующие механизм нечетких контроллеров для представления набора правил в комбинации с использованием генетических алгоритмов для настройки правил (генетические нечеткие системы, Genetic Fuzzy Systems) дают достаточно точные и интерпретируемые множества продукций, получаемые автоматически, без помощи человека.

Формально результаты работы подобной системы можно представить так: необходимо найти множество правил *Bg*, содержащие правила R_i, $i=1...n$, где n — число правил, такое, чтобы прогнозное/аппроксимированные значения

$$\overline{Y}_j = \underset{i=1..n}{*} R_i(\overline{X}_j), \tag{1}$$

где операция * - получение результата алгоритмом нечеткого вывода,

$\overline{X}_j$ — j–й набор из множества входных точек (влияющих факторов),

$\overline{Y}_j$ — j–й прогнозный/аппроксимированный набор точек, такой что

$$\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}(\overline{Y}_j - \overline{y}_j)^2 \to \min, \tag{2}$$

где $\overline{y}_j$ — реальные значения прогнозного/аппроксимированного набора точек, взятого из ОВ,

m — число наборов в ОВ.

В процессе работ с такими системами и их дальнейшего усовершенствования могут быть получены новые важные результаты как в теоретическом, так и в практическом плане.

Анализ современного состояния проблемы

Исследования и публикации в данной области. Основной подход для реализации системы по созданию набора правил для классификации/прогнозирования с использованием генетических алгоритмов изложен в обзоре [1]. Он расширен и дополнен как в последующих работах автора [2], так и в других работах [3]. Математический аппарат нечетких множеств создан и получил развитие в работах Л. Задэ, Т. Тэрано, М.Сугэно. Подробно с ними можно ознакомиться, например, в источниках [4, 5, 6]. Применение генетических алгоритмов (ГА) для автоматического создания и настройки правил на основе нечетких логических контроллеров (создание Genetic Fuzzy System) освещено в указанных изданиях [7, 8, 9]. Этот подход к формированию базы знаний был успешно применен в предыдущих работах авторов [11, 12]. В качестве нечеткой функции принадлежности (далее ФП) там использовалась треугольная функция, задаваемая тремя числами. В [1] источнике было практически показано, что данный вид ФП превосходит трапецеидальную, задаваемую четырьмя числами, а в [13] — для модификации ФП использовалась модифицированная функция на основе сигмоидальных ФП. Опыты показали незначительное улучшение точности прогнозирования при большом уменьшении быстродействия, а также необходимость в исследовании изменения параметров самой ФП и терм-множеств лингвистических переменных, используемых при создании набора правил. Но широкое исследование применимости ФП для алгоритма данного вида не проводилось. Эти исследования выполнены в данной работе.

В настоящее время направлением Genetic Fuzzy Systems занимается всего одна группа ученых, в основном из Испании. С основными их результатами можно познакомиться в работах [7, 8, 9]. В нашей стране это направление ранее не развивалось.

Цель статьи

Развитие алгоритма создания генетической нечеткой системы путем исследования возможностей и путей модификации ФП нечетких логических контроллеров и их параметров с целью улучшения точности аппроксимации/прогнозирования, получаемого такой системой.

Описание алгоритма построения базы знаний

В данной работе генетические алгоритмы используются для автоматического создания и настройки множества правил, представленных с помощью нечетких логических контроллеров (в качестве алгоритма нечеткого вывода использован алгоритм Mamdani). Полученные правила применяются, в том числе, и для прогнозирования временных рядов в автомобильной отрасли.

Правила являются нечеткими продукциями следующего вида:

ЕСЛИ x_1 *есть* α_1 И…И x_n *есть* α_n ТО y *есть* α', где $x_1, x_2, \ldots, x_n$ — входные лингвистические переменные, y — выходная лигвистическая переменная, $\alpha 1, \alpha 2, \ldots, \alpha_n, \alpha'$ — термы из терм-множеств соответствующих лингвистических переменных.

Термы всех нечетких высказываний нечетких продукций (которые отражают ограничения на входные и выходные переменные) имеют треугольные функции принадлежности (и задаются тремя вещественными числами). Потенциальные решения — набор правил в ГА представляется хромосомой, которая состоит из двух фрагментов. Первая часть (фрагмент) включает в себя номера термов из терм-множеств соответствующих лингвистических переменных. На основе функций принадлежности этих термов строится изначально набор правил. Вторая часть содержит

более точный вид правила в виде набора закодированных функций принадлежности (каждая кодируется тремя числами, всего n входных и 1 выходная переменная).

Таким образом, хромосома имеет вид $C=C_1C_2$, где $C_1= C_{11}, C_{21}, ..., C_{n1}, C_y$ — выбор конкретного терма лингвистической переменной для каждого входа и выхода, $C_2=C_{a12}C_{b12}C_{c12}C_{a22}C_{b22}C_{c22}...$ $C_{an2}C_{bn2}C_{cn2}C_{ay2}C_{by2}C_{cy2}$ — точная настройка нечетких функций правила (координаты абсцисс левого края треугольника, его центра и его правого края). Здесь с помощью фрагмента хромосомы C_1 выполняется грубая настройка правила, в то время как фрагмент C_2 используется для точной настройки. Например, для задачи из 2-х входных переменных и 1 выходной для 5 термов терм-множеств лингвистических переменных вполне реально существование хромосомы C= 2 5 3 || 0.05 0.2 0.389 | 0.9 1.0 1.0 | 0.39 0.51 0.599.

Процесс создания базы знаний состоит из двух последовательных этапов, постепенно улучшающих результат прогнозирования, процессы генерации знаний и постпроцессинга.

Рассмотрим основные этапы построения базы знаний:

Первичная генерация правил (этап генерации знаний). На этом этапе создается набор нечетких правил, на основании которого и получается прогноз. Правила состоят из двух частей: части для дескриптивного описания (в правиле представлены индексы термов из терм-множеств соответствующих лингвистических переменных, на основании ФП которых и строится правило), и части для аппроксимативного описания (содержащей в себе формы термов), которая уточняет базовую форму термов из первой части правила. В термах используются ФП треугольного вида, кодируемые тремя числами — координатами левого края, центра и правого края. Создание и подстройка правил осуществляется ГА, который использует как генетические операторы для целочисленного кодирования решений при грубой настройке правил, на основе первой части правил, так и генетические операторы кроссинговера и мутации для работы с вещественными хромосомами для более точной их настройки с использованием второй части правил [11].

Второй этап — построцессинга работает с уже готовой базой знаний, последовательно настраивая, модифицируя уже созданные правила. Этот этап состоит из трех последовательных процедур, работающих над правилами:

Процедура *упрощения базы знаний (симплификация)* производится путем удаления ненужных или малоинформативных правил из множества, созданного на первом этапе. Это выполняется с помощью второго ГА, работающего с двоичными хромосомами, каждый бит которых включает/не включает соответствующее по порядку правило, полученное в результате работы первого этапа — генерации, в итоговое множество.

Процедура взвешивания настраивает веса правил, в результате чего важность правил для итогового прогноза меняется. Веса правил находятся с помощью еще одного ГА, работающего с хромосомами вещественного кодирования. В хромосому добавляется набор генов, отвечающий за вес конкретного правила в итоговом прогнозе. Вес правила модифицируется в пределах от 0 до 2, при этом базовый вес правила — 1.

Процедура *окончательной настройки правил базы знаний (тюнинг)* корректирует форму правил для получения оптимального по точности результата. Это производится ГА, работающим с мультихромосомами. Первая мультихромосома содержит в себе все части C_2 правил из набора, полученного в результате работы второго этапа, объединенных в одной строке. Остальные мультихромосомы создаются по подобию первой, но с отклонениями в пределах разрешенных интервалов. ГА здесь использует те же операторы, что и при работе с второй (вещественной) частью хромосом на этапе генерации знаний.

Результатом работы процесса является набор правил, по которому можно как получить аппроксимированное значение функции, так и прогноз следующего элемента временного ряда на основании подаваемых на вход влияющих факторов. Набор правил записывается в базу знаний и может быть интерпретирован, в том числе и словесно (см. [4]) Более подробно процесс описан в работе [11], в источниках [7, 8, 9] показаны аналогичные работы.

Модификация и выбор функций принадлежности

Проблемы модификации функции принадлежности. Главной проблемой для применения произвольных функций принадлежности в процессе получения базы знаний в [13] являлась процедура дефаззификации. Ранее для дефаззификации использовался метод центра тяжести:

$$Z = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x * f(x)dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx}.$$

Применение этого метода требовало нахождения двух интегралов: $\int_{-\infty}^{\infty} x * f(x)dx$ и $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx$, что накладывало значительные ограничения на используемые ФП (интеграл многих из них в аналитическом виде не берется). В [13] показана нежелательность использования численных методов интегрирования, в связи с недостаточной скоростью работы таких методов. В [13] для дефаззификации использован бисекторный метод: $\int_{-\infty}^{Z} f(x)dx = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx}{2}$, что снимало вопрос интегрируемости выражения $\int_{-\infty}^{\infty} x * f(x)dx$. Но ограничение на использование большого числа ФП все равно оставалось. Поэтому вместо алгоритма *Мамдани* в качестве основного алгоритма нечеткого вывода было предложено использовать *упрощенный алгоритм* нечеткого вывода, который тем, что выходного правила как такового нет, выход определяется одной точкой, которая может быть закодирована в хромосоме. Для дефаззификации используется модифицированный метод центра тяжести для одноточечных множеств [5]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_i * w_i}{\sum_{i=1}^{n} c_i}, \text{ где} \qquad (3)$$

n — общее число активных правил;

w — степени истинности заключений правил нечетких продукций, найденные на этапе агрегирования;

c — выходное число правила (в отличие от выходного правила ранее).

Форма выходного правила генетическим алгоритмом при этом не ищется; ищется только одно число. С точки зрения изменений в программе такая модификация была крайне просто реализована, и дала значительный прирост быстродействия в связи с отказом от необходимости использовать вычислительно сложную операцию интегрирования. На точность же нахождения решения данная мера никак не повлияла.

Выбор ФП для модификации. В аппарате нечетких множеств существует набор стандартных ФП. Например, в fuzzy logic toolbox из Matlab имеются такие ФП [4]:

trimf — классическая треугольная функция принадлежности (ФП), примененная в [11];

trapmf — трапецеидальная функция принадлежности, исследованная в [1];

sigmf — сигмоидальная функция принадлежности;

dsigmf — абсолютная величина разности двух сигмоидальных функций;

gbellmf — функция принадлежности так называемого обобщенного колоколообразного типа:

$$gbellmf(x,a,b,c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}; \tag{4}$$

gaussmf — Гауссова функция принадлежности;

gauss2mf — разность двух Гауссовых функций принадлежности;

smf — функция задана кусочно;

zmf — функция задана кусочно, аналогично smf;

pimf — т.н. π-образная функция принадлежности, получившая свое название из-за оригинальной формы. Функция вычисляется с использованием сплайн-аппроксимации по четырем точкам, определяющим основание кривой и положение плоской вершины;

psigmf — определяется как произведение двух сигмоидальных функций;

Также в [13] было предложено использовать модифицированную функцию:

$$fm(x,a_1,c_1,a_2,c_2) = mdsigmf(x,a_1,c_1,a_2,c_2) = \frac{1}{1+e^{-a_1(x-c_1)}} + \frac{1}{1+e^{-a_2(x-c_2)}} - 1. \tag{5}$$

Ранее были выдвинуты следующие требования к функциям принадлежности:

– точность получения результата на основании данной функции принадлежности;

– высокая скорость вычисления результата;

– ясная интерпретируемость правила на основании данной функции принадлежности.

Вышеприведенная модификация алгоритма нечеткого вывода делают применение практически любой из указанных функций принадлежности вычислительно почти одинаковыми для одинакового размера создаваемой базы знаний. Но вопросы интерпретируемости остаются открытыми, что делает применение функций sigmf, smf, zmf нежелательным, поскольку они являются односторонними (асимптотически сходятся к 0 с одной стороны, и к 1 с другой). Кроме этого, не исследовались однотипные функции, базирующихся на аналитически подобных выражениях, поскольку целью данной работы является определение лучшего типа функции принадлежности, подходящего наилучшим образом для задач аппроксимации и классификации. В связи с этим не рассматривались функции dsigmf, psigmf как подобные функции mdsigmf, а также gauss2mf как подобную функции gaussmf. Кроме этого, работа с функцией pimf, основанной на функциях smf и zmf не производилась ввиду сложности задания выражения этой функции. Т.о., в результате анализа существующих ФП для сравнения выбраны функции trimf, mdsigmf (5), gaussmf, gbellmf (4). Над этими функциями и проводились дальнейшие эксперименты.

Тестирование функций принадлежности на задачах аппроксимации и выбор оптимальных параметров алгоритма и функции принадлежности.

Тестирование функций принадлежности на задачах аппроксимации.

Первоначальный анализ пригодности ФП было предложено проводить на очень маленькой и простой задаче аппроксимации, т.к. необходимо было проводить весьма значительное число опытов по определению параметров алгоритма, самой ФП, терм-множеств входных лингвистических переменных. Кроме этого, сам алгоритм первоначально был упрощен для увеличения скорости

его работы — оставлены только операторы, работающие с терм-множествами, т.е. та часть алгоритма, которая использует дескриптивный подход для решения задачи. Первоначально модифицировалась только часть C1 хромосомы, часть C2 бралась из терм-множества соответствующих входных лингвистических переменных. Параметры ФП первоначально брались такие, чтобы составить терм-множество со следующими характеристиками:

Количество термов = 6, центры функций принадлежности термов распределены по пространству поиска равномерно, в центрах величина ФП равна 1; значения ФП термов д.б. пренебрежительно малыми (0.01) в точках, в которых соседние термы имеют центры.

Итак, в качестве задачи аппроксимации была взята простейшая задача — $y=sin(x)$. Пространство поиска (1 период) было разбито на 40 интервалов, исходная обучающая выборка состояла из 41 точки. Проверочная выборка разбивала пространство поиска на 400 равных интервалов и состояла из 401 точки. Поскольку для тестовой задачи взята функция от двух переменных, было возможно получить графическое отображение процесса решения задачи и погрешности ее решения.

Для исследования оптимальных для увеличения точности параметров алгоритма производился поиск зависимостей между быстродействием, и различными частями фитнесс-функции. Из фитнесс-функции были выделены следующие части: JMeasure (вся фитнесс-функция); $\mathrm{NegPen}=g_n(R_i^-)$ — степень покрытия отрицательных примеров; LNIR — степень взаимного перекрытия правил (low niche interaction rate), а также некоторые параметры функций принадлежности: Width — средняя ширина правил итоговой популяции (бралась как расстояние между точками, в которых функция принадлежности имеет значения 0.01); Square — средняя площадь функции принадлежности. Кроме этого, анализировался параметр алгоритма CoverCount — средняя величина покрытия всех точек популяции одним правилом, и RulesCount — общее количество правил в полученной базе знаний. Производился поиск по влиянию этих величин для различных функций принадлежности на параметры Time — время нахождения решения, и MSE — погрешность решения.

Для определения зависимостей между параметрами проводились серии из 5 опытов, состоящие из 10 запусков алгоритма с сохранением среднего результата. Поиск зависимостей производился с помощью корреляционного анализа. Результаты опытов приведены в таблицах 1 и 2. В таблице 1 представлены зависимости вышеприведенных параметров (среднее по всем 50 запускам алгоритма) от вида функции принадлежности (trimf, mdsigmf, gaussmf, gbellmf). Также представлены результаты опытов на функции gbellmf с оптимизированными параметрами, о которой будет рассказано ниже.

Таблица 1

Результаты опытов

	trimf	mdsigmf	gaussmf	gbellmf баз	gbellmf мод
Time MSE*100 тест	0:01	0:09	0:07	0:03	0:58
MSE*100 тест	1.22774	5.02018	2.28687	4.1252	0.66282
RulesCount	52.4	109.4	95	58.6	89.6
JMeasure	0.01642	0.011037	0.014178	0.012704	0.070518
CoverCount	0.087339	0.038573	0.051755	0.083154	0.051096
NegPen	0.19763	0.410395	0.59917	1	1
LNIR	0.782943	0.777163	0.749437	0.853115	0.901483
Width	0.386006	0.343314	0.40742	0.701765	0.591187
Square	0.192586	0.14464	0.151351	0.163545	0.063956

В таблице 2 приведены результаты корреляционного анализа для параметров алгоритма и фитнесс-функции между собой (анализировался ряд из 5 элементов, каждый элемент которого являлся серией из 10 запусков).

По результатам опытов можно сделать такие предварительные выводы:

Треугольная функция принадлежности является самой лучшей по соотношению точность/время решения. Она уже проверена на многих задачах и ее параметры оптимизированы.

Из всех других рассмотренных видов функций принадлежности наихудшей является mdsigmf. Gaussmf дает неплохую точность при достаточно большом количестве правил, а Gbellmf — чуть меньшую точность при малом количестве правил.

При рассмотрении количества параметров функций принадлежностей предпочтение отдается все же функции Gbellmf ввиду ее намного большей гибкости и возможностей для оптимизации параметров.

Функция Gbellmf имеет 3 параметра: *a, b* и *c*. Параметр a отвечает скорее за общую высоту функции принадлежности, параметр *b* — за крутизну ее «склонов», параметр *c* — координата центра. Кроме этого, также для скорости работы алгоритма и точности результата важными являются минимальные и максимальные разрешенные значения для этих параметров, хранимые в терм-множествах, с которыми работает алгоритм. Логичным продолжением исследований было бы исследование оптимальных для точности значений этих параметров. Но результаты, получаемые с помощью созданной благодаря алгоритму базой знаний, обладают значительной стохастичностью: для одинаковых параметров два последовательных запуска алгоритма могут дать весьма различные результаты. Оценивать параметры необходимо многократно. Использовать генетический алгоритм для этой цели неразумно, поскольку эти параметры весьма коррелированы между собой, а генетический алгоритм требует значительных вычислительных ресурсов. Поэтому было для поиска оптимальных значений параметров алгоритма использовалась эволюционная стратегия.

Выбор оптимальных параметров алгоритма и функции принадлежности.

Предлагается применять ЭС, основанную на т.н. (1+1)–ЭС [9]. Она заключается в случайной мутации генов хромосомы, последующего сравнения измененной и исходной точек и замене первоначальной точки на измененную в случае удачной мутации. Величина мутации основана на параметре σ, стандартном отклонении нормально распределенной случайной переменной. Он основан на правиле успеха 1/5 удовлетворительных мутаций (Rechenberg [10]). В процессе выполнения ЭС мутирует каждый ген хромосомы при помощи нормально распределенной случайной величины со стандартным отклонением σ', зависящего от σ и от разрешенного интервала изменения каждого гена хромосомы. После применения мутации находится фитнесс-функция мутированной особи. В случае, если она имеет лучшее значение, чем фитнесс немутированной особи, последняя заменяется на мутированную.

Хромосома состояла из 9 элементов (amin, a, amax, bmin, b, bmax, cmin, c, cmax), которые использовались потом при создании терм-множества и далее в работе алгоритма. В результате запуска эволюционной стратегии были взяты значения, соответствующие наилучшему результату, полученному в процессе поиска. Это еще не является гарантией наилучших значений параметров, но эти значения достаточно хороши для получения точного результата. После этого была проделана еще одна серия из 50 опытов и к таблице добавлен еще один столбец (gbellmf мод). Результаты опытов говорят о том, что на упрощенном алгоритме, реализующем только аппроксимацию с помощью дескриптивного подхода, удалось добиться точности, значимо лучшей, чем с использованием стандартной треугольной функции принадлежности. Но это удалось за счет значительного увеличения количества правил и времени выполнения алгоритма. Впрочем, второе весьма связано с первым. Кроме того, можно заметить, что средняя площадь правил уменьшилась при увеличении средней ширины правил. Можно сделать предположение, что уменьшение размера треугольных правил также даст увеличение точности. Но сам вид функции принадлежности, без сомнения, также играет роль.

Проверка полученных результатов на тестовом наборе.

В качестве тестовой задачи использовалась задача spherical model [7,8], где в качестве фитнесс-функции используется достаточно простая унимодальная функция

$$F(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2, \quad x_1, x_2 \in [-5..5], F(x_1, x_2) \in [0..50]. \tag{6}$$

Для составления обучающей выборки (ОВ) пространство поиска каждой входной переменной было разбито на 41 равный интервал и в итоге получена 1681 точка. Для составления ТВ (тестовой выборки) входные точки были взяты с помощью генератора случайных чисел, в объеме 10% от ОВ (168 точек) [7,8]. Полученные результаты сравнивались с результатами, полученными ранее в предыдущих работах авторов [11].

Результаты опытов показаны в таблице 3. Здесь представлены также результаты для данного теста, полученные зарубежными авторами с использованием подобных алгоритмов [7, 8], а также результаты, полученные для использования в данном алгоритме треугольной ФП, опубликованные в [11]. Кроме этого, были получены результаты с использованием стандартного пакета Matlab (Neural Network Toolbox). Они показаны в строке НС. В таблице показаны количество правил (Пр.) и значения MSE*100 как для обучающей (ОВ), так и для тестовой (ТВ) выборок для этапа генерации знаний (Генер.) и для всех процессов этапа постпроцессинга: симплификации (Сипл.), взвешивания (Взвеш.) и тюнинга (Тюн.).

Как видим, результаты, полученные с использованием модифицированной функции принадлежности, на порядок превосходят полученные ранее с использованием подобных алгоритмов (в 12.47-16.49 раз) и сравнимы с точностью, получаемой с помощью нейронных сетей. Это достигается за счет значительного увеличения вычислительной сложности задачи и количества правил в базе знаний. Таким образом, для дальнейших исследований необходимо ставить вопрос о нахождении компромисса между требуемой точностью решения и простотой базы знаний, необходимой для ее достижения.

Таблица 3

Результаты, полученные алгоритмом на тестовой задаче Spherical Model

Spherical model	Пр.	Генер., ОВ	Генер., ТВ	Пр.	Симпл., ОВ	Симпл., ТВ	Взвеш., ОВ	Взвеш., ТВ	Тюн., ОВ	Тюн., ТВ
Результаты для треугольной ФП ([11])	97	356.03	294.12	53	191.59	154.39			59.53	53.39
Результаты из [7]	88		614.63	64		398.61				76.8
Результаты из [8], криптивный подход	167	351.87	349.86	91	167.09	162.25			34.59	31.74
НС									0.93	0.47
Результаты для Gbell	734	104.44	67.85	608	30.5	23.03	16.94	13.7		
				579	29.3	23.05	16.21	13.93		
				637	27.82	23.66	14.48	11.8	3.61	4.28

Выводы

В результате исследований можно сделать следующие выводы:

Произведена замена алгоритма нечеткого вывода Мамдани на упрощенный алгоритм нечеткого вывода, что дает возможность отказаться от нахождения интегралов в процессе дефаззификации, достаточно просто в реализации и не ухудшает получаемый результат.

Выполнен анализ существующих ФП в модифицированном процессе получения базы знаний. В результате для дальнейших исследований отобраны 4 функции: треугольная, модифицированная на основе сигмоидальной (6), гауссова, а также функции gbellmf (5). На основе опытов с упрощенным алгоритмом получения базы знаний (в алгоритме оставлены только механизмы для дескриптивной аппроксимации данных) и упрощенным тестовым набором из этих функций отобрана наиболее перспективная для дальнейшей оптимизации ее параметров — gbellmf (5).

Произведена оптимизация параметров самой ФП, а также разрешенных интервалов их изменения. Это сделано с помощью эволюционной (1+1) стратегии, которая применялась, поскольку многие из параметров связаны между собой.

Для оптимизированных параметров ФП выполнено тестирование на стандартном тестовом наборе Spherical Model и сравнение результатов с результатами использования треугольной ФП в данном алгоритме получения базы знаний, а также с результатами зарубежных авторов на подобных алгоритмах. Точность результата улучшена на порядок и сравнима с точностью, получаемой с помощью нейронной сетью. Это достигается за счет значительного увеличения вычислительной сложности задачи, а также количества правил-продукций в базе знаний.

Список литературы

1. Freitas Alex, 2002. A survey of evolutionary algorithms for data mining and knowledge discovery. Springer-Verlag. In A. Ghosh and S. Tsutsui editors, Advances in Evolutionary Computation, chapter 33, pages 819–845.

2. Dieferson Luis Alves de Araujo, Heitor S. Lopes, Alex A. Freitas. A parallel genetic algorithm for Rule Discovery in Large Databases. Proc 1999 IEEE Systems, Man and Cybernetics Conf., v.3, 940-945. Tokyo, 1999.

3. Wojciech Kwedlo and Marek Kretowski, 199. Discowery of Decision Rules from Databases: An Evolutionary Approach. Proc. 2nd European Symp. on principles of Data Myning and Knowledge Discovery (PKDD-98). Lecture Notes in Artificial Intelligence 1510, 371–378. Springer-Verlag, 1998.

4. Л.Заде. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 167с.

5. А.Леоненков. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736с.: ил.

6. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. — 480с.: ил.

7. F.Herrera, M.Lozano, J.L.Verdegay. A Learning Process for Fuzzy Control Rules using Genetic Algorithms // Fuzzy Sets and Systems 100 (1998) 143–158.

8. O.Cordon, F.Herrera. A Three-Stage Evolutionary Process for Learning Descriptive and Approximative Fuzzy Logic Controller Knowledge Bases from Examples.// International Journal of Approximate Reasoning Vo. 17–4 (1997) 369–407.

9. O.Cordon, F.Herrera. Hybridizing Genetic Algorithms with Sharing Scheme and Evolution Strategies for Designing Approximate Fuzzy Rule-Based Systems. // Fuzzy Sets and Systems 118:2 (2001) 235-255.

10. Z.Michalewicz. Genetic Algorithms + Data Structures= Evolution Programs, Springer-Verlag,second edition,Berlin,1994.

11. Хмелевой С.В. Создание и применение базы знаний на основе аппроксимативных нечетких логических контроллеров для прогнозирования internet траффика. // Наукові праці ДонНТУ серия: «Вычислительная техника и автоматизация», Донецк: изд-во ДонНТУ, 2007г., в печати.

12. Скобцов Ю.А., Хмелевой С.В.. Применение эволюционной стратегии и мультисимплификации при генерации нечетких управляющих правил для прогнозирования internet траффика. «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы»: Материалы восьмого международного научно-практического семинара. г. Донецк, 17–20 апреля 2007г. В 3-х томах. Том 3 — Донецк, ДонНТУ, 2007 — 374с. стр. 302–313.

13. Скобцов Ю.А., Хмелевой С.В.. Модификация функции принадлежности аппроксимативных нечетких логических контроллеров, настраиваемых с помощью генетических алгоритмов. // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2007г. — Херсон, «Олди-плюс». — №4 (27). — с. 411–420.— 651с.

14. Smyth P. and Goodman R.M. — «Rule induction using information theory». In Piatesky-Shapiro G. and Frawley J. (editors), Knowledge Discovery in Databases, pp. 159-176, Cambridge: MIT press, 1991.

15. Cover, T.M.: Thomas. J.A. Elements of Information Theory. John Wiley&Sons. 1991.

16. Thompson S. Genetic algorithms as postprocessors for data mining. In: Freitas A.A. (Ed.) Data Mining with Evolutionary Algorithms: Research Directions — Papers from the AAAI Workshop, 18–22. Technical Report WS-9905. AAAI Press, 1999.

17. Родзин С.И. Эволюционные стратегии: концепции и результаты// Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы.

Стаття надійшла до редакції 04.12.2007 р.

УДК 621.31

СТОЛЯРЕНКО М.А., к.т.н., Донецкий институт автомобильного транспорта

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В статье выделены проблемы управления транспортными сетями и предложена структура автоматизированной системы управления транспортной системой городского, пригородного и междугородного пассажирского и грузового транспорта. Выделены четыре подсистемы и обозначены взаимосвязи между ними.

Введение

В современных условиях износа дорожного покрытия, подвижного состава и завышенной стоимости горюче-смазочных материалов актуальна проблема комплексного управления транспортными сетями, включающая в себя планирование транспортных магистралей, проектирование маршрутов, а также оперативное управление системой при возникновении внештатных ситуаций или изменении внешних условий.

Анализ последних достижений

Существующие специализированные программные средства позволяют частично решать проблемы управления, но в большинстве случаев сводятся к учету материальных ресурсов транспортной сети. При этом анализ ситуации и принятие решения предоставляется конечному пользователю системы.

Цель работы

Целью работы является выделение проблем повышения эффективности функционирования транспортных сетей и разработка структуры автоматизированной системы управления.

Постановка задачи

Анализ процессов, протекающих в транспортных сетях, позволил выделить следующие задачи управления транспортными сетями:

1. Планирование и реконфигурация городских, пригородных и междугородних путей

сообщения в соответствии с потребностями в пассажирских и грузовых перевозках. Эта задача обусловлена возникновением новых и упадком старых населенных пунктов, жилых, коммерческих и промышленных зон.

2. Определение маршрутов пассажирских и грузовых перевозок пригородного и междугороднего сообщения. Особенностью этой задачи являются сезонные колебания некоторых маршрутов (например, летние курорты).

3. Определение количества транспортных средств и графика их движения на пассажирских и грузовых маршрутах. Особенностью этой проблемы является недельная, суточная и пиковая неравномерность нагрузки. Примером суточной неравномерности является массовое утреннее передвижение людей из жилых районов в промышленные и коммерческие, и обратное вечернее передвижение. Пиковые нагрузки на транспортные сети возникают во время проведения массовых спортивных мероприятий, в частности, предстоящих футбольных матчей чемпионата «Евро — 2012».

4. Оперативное управление состоянием транспортной сети при возникновении аварийных или внештатных ситуаций, которое включает в себя:

а) изменение количества транспортных средств при изменении пассажиро- или грузопотока;

б) изменение маршрута или маршрутов движения транспортных средств при возникновении проблемного участка движения (пробка, авария, ремонт дороги и пр.);

в) изменение маршрутов при систематическом возникновении проблемных участков в определенном месте дороги;

г) реконфигурация дорожного покрытия при систематическом возникновении пробок и невозможности решить эту проблему с помощью изменения маршрутов движения автотранспорта.

Решение проблемы

В соответствии с обозначенными проблемами была синтезирована структура системы управления, состоящая из четырех подсистем (рис.1).

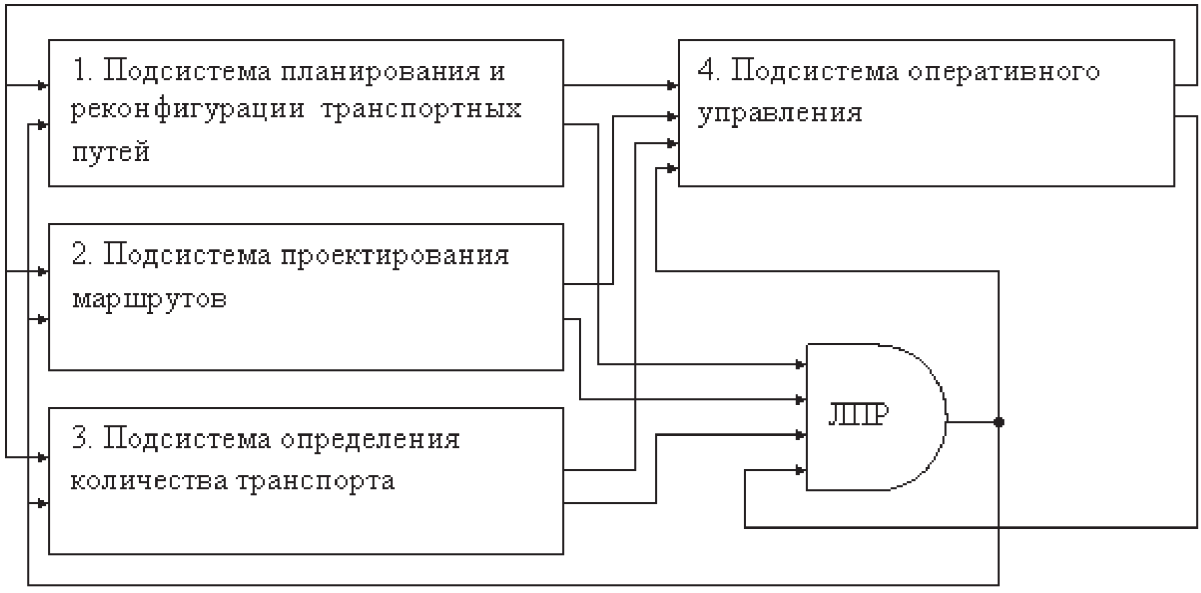


Рис.1. Структура системы управления транспортными сетями

Подсистема планирования и реконфигурации транспортных путей предназначена для разработки плана дорог и магистралей между пунктами назначения. Исходными данными указанной подсистемы является:

1. Карта местности с указанием населенных пунктов (для междугороднего сообщения) или районов города (для городского и пригородного сообщения) с указанием плотности населения. Результатом работы подсистемы является план дорожного покрытия, нанесенный на карту местности с указанием пропускной способности каждого участка.

2. Карта существующего дорожного покрытия.

3. Географическая карта местности с указанием высот и уклонов местности.

В зависимости от поставленной задачи пользователь выбирает один из следующих критериев оптимальности работы подсистемы:

1. Минимальные финансовые затраты на строительство дорожного покрытия.

2. Минимальная суммарная протяженность дорожного покрытия.

Ограничениями поиска наилучшего варианта являются: рельеф местности и расположение населенных пунктов. Результатом деятельности подсистемы является план дорожного покрытия, разработанный в соответствии с заданным критерием оптимальности.

Результат работы подсистемы планирования и реконфигурации транспортных путей является исходной информацией для подсистемы проектирования маршрутов, которая предназначена для определения транспортных маршрутов в соответствии с заданным критерием оптимальности. Входными данными подсистемы является план транспортных магистралей, а также статистические данные о предполагаемых пассажиропотоках для пассажирских перевозок и грузопотоков для грузовых перевозок. Результатом работы подсистемы является план грузовых и пассажирских маршрутов, соответствующий транспортным магистралям.

Подсистема определения количества транспорта предназначена для определения количества и типов транспортных средств на существующих маршрутах. Входными данными подсистемы является план маршрутов, а также количество и вместимость имеющихся в наличии транспортных средств. Результатом работы подсистемы является количество транспортных средств каждого типа на конкретном маршруте.

Подсистема оперативного управления состоянием транспортной сети активизируется пользователем при возникновении внештатных (аварийных) ситуаций или изменении внешних условий. Входными данными выступают результаты работы трех предыдущих подсистем, а также возмущающие воздействия. Результатом работы является рекомендация пользователю по принятию решения в конкретной ситуации. При этом предусмотрена возможность передачи управления из подсистемы оперативного управления в остальные подсистемы автоматизированной системы управления.

Информация о текущем состоянии транспортной системы поступает лицу, принимающему решение (ЛПР) — оператору системы. В зависимости от задач управления ЛПР активизирует одну из четырех подсистем системы управления. Результат работы подсистем поступает оператору системы, который при необходимости может производить переключения между подсистемами, а также изменять начальные условия работы системы управления.

Выводы

Предложенная структура автоматизированной системы управления позволяет осуществлять полный цикл управления транспортными сетями, включая планирование дорог, проектирование маршрутов, определение необходимого количества транспортных средств и оперативное управление при возникновении внештатных ситуаций. Предлагаемая система инвариантна относительно карты местности и может применяться при управлении городскими, пригородными и междугородними транспортными сетями пассажирских и грузовых перевозок.

Список литературы

1. Столяренко М.А. Структура автоматизированной системы управления транспортными сетями// Сб. тезисов X междунар. Научно-технич. конф «Моделирование, идентификация, синтез систем управления» 16 — 23 сентября 2007 г.

Стаття надійшла до редакції 25.12.2007 р.

УДК 004.896:631.554

КРИВОДУБСКИЙ О.А., к.т.н., доц., СЕЛЯКОВА С.М.,
Донецкий институт автомобильного транспорта

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМИ РАБОТАМИ

Представлена структурная схема автоматизированной системы управления уборочно-транспортными работами. Определены структурные составляющие системы и приведены их функциональные схемы.

Постановка проблемы исследования

Современное состояние сельскохозяйственного производства в Украине требует повышения уровня организации процессов сбора и транспортировки урожая с целью сокращения его потерь и обеспечения нормативов качества. Для решения этой проблемы разрабатывается автоматизированная система управления уборочно-транспортными работами, которая позволит эффективно планировать уборочную кампанию и оперативно управлять ею в режиме реального времени.

Анализ источников

Традиционные методы организации уборочно-транспортных работ во время сбора зерновых культур рассматриваются в работе [1]. В источнике [2] предложено повышать эффективность механизированных технологий уборки зерновых за счёт сокращения механических микроповреждений зерна средствами механизации. В статье [3] решается проблема организации уборочно-транспортно-заготовительных работ на основе применения инновационной технологии композитной навигации уборочно-заготовительных кампаний в АПК. Однако проблема организации уборочной кампании при наиболее полном учёте неодинакового влияния условий эксплуатации технических средств и возможностей современных товаропроизводителей при уборке урожая остаётся до сих пор актуальной.

Постановка задачи исследования

Разработать структуру ***автоматизированной системы управления уборочно-транспортными работами (АСУУТР)***, которая обеспечит повышение эффективности уборочной кампании.

Основной раздел

Для разработки структуры автоматизированной системы управления уборочно-транспортными работами необходимо определить составные элементы этой системы и функциональное назначение каждой её составляющей.

Целью создания АСУУТР является разработка инструментария для принятия решений по организации уборочно-транспортных работ при ограниченных временных, технических и материальных ресурсах. На основе анализа функциональных особенностей проведения уборочной кампании и характеристик объекта управления сформирована структура АСУУТР (рис. 1). Объектом управления АСУУТР является совокупность уборочных и транспортных средств, задействованных в проведении уборочно-транспортных работ во время уборочной кампании, а также множество погрузочных и разгрузочных механизмов, осуществляющих технологические операции на пункте послеуборочной обработки зерна. Таким образом, структура объекта управления представлена в виде совокупности агротехнических подразделений уборки (блок 6), транспортировки (блок 8) и послеуборочной обработки (блок 10), каждое из которых функционально предназначено для выполнения определённых видов работ. Подразделение: уборки (блок 6) отвечает за сбор зерна с полей и представлено парком уборочной техники. Подразделение транспортировки (блок 8) производит перевозку зерна с полей на заготовительное предприятие или, в случае несоответствия зерна стандартам качества по показателям влажности и засоренности, зерно транспортируется в подразделение послеуборочной обработки (блок 10), а затем на заготовительное предприятие. Блок 10 представляет собой пункт послеуборочной обработки зерна (зерноток) с множеством разгрузочных и погрузочных механизмов, площадкой для сушки зерна и другим оборудованием для выполнения операций, связанных с очисткой, сортированием, сушкой и хранением зерна.

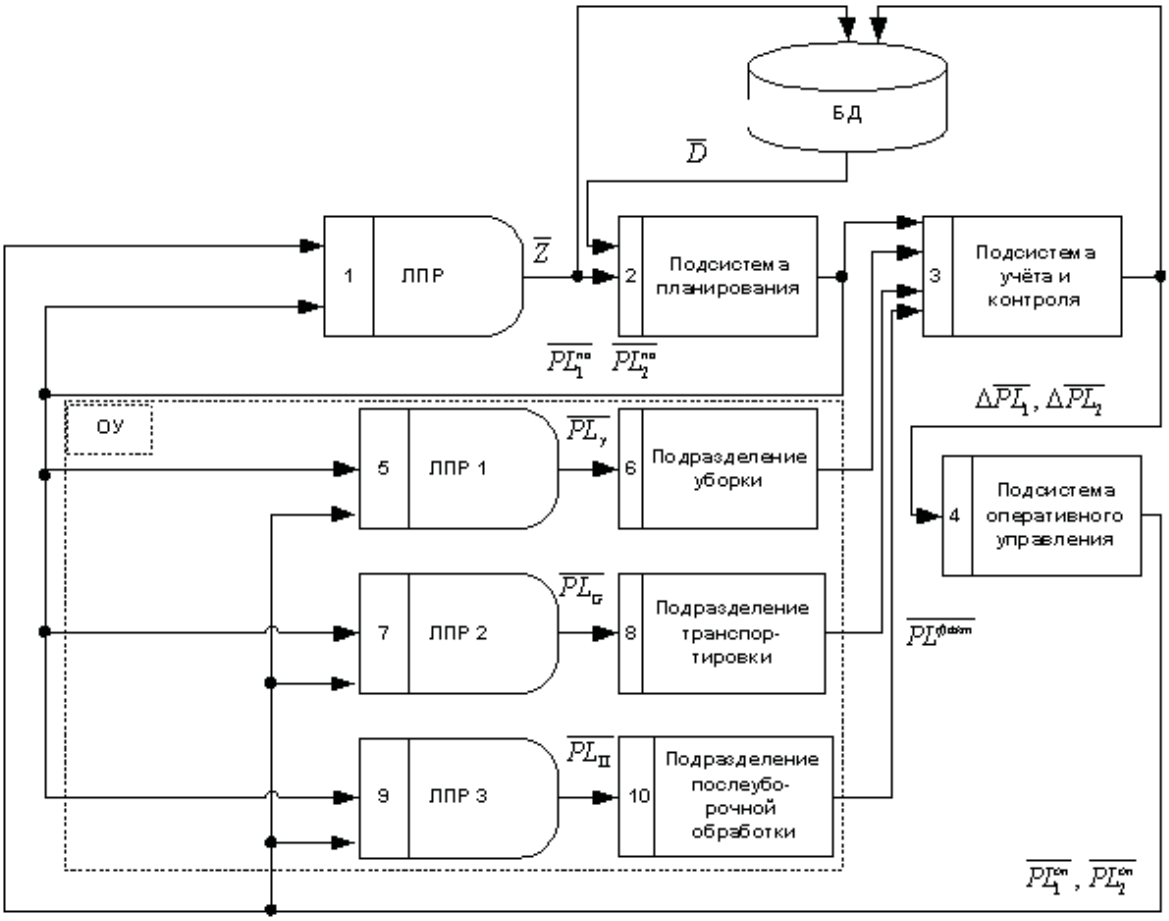


Рис. 1. Структурная схема АСУУТР

В предложенной функциональной структуре АСУУТР предусмотрено лицо, принимающее решения — ЛПР (блок 1). Функции ЛПР по организации уборочной кампании и её материально-техническому обеспечению выполняет, как правило, управляющий сельскохозяйственным предприятием. В подчинении ЛПР находятся руководители агротехнических подразделений, которые несут ответственность за выполнение работы каждым подразделением. На функциональной схеме руководитель подразделения уборки представлен в виде ЛПР 1 (блок 5), подразделения транспортировки — ЛПР 2 (блок 7), подразделения послеуборочной обработки — ЛПР 3 (блок 9).

Эффективное управление составляющими объекта управления возможно путём решения задач планирования, контроля и оперативного управления. Для решения этих задач в структуре АСУУТР предусматриваются следующие функциональные подсистемы: планирования (блок 2), учёта и контроля (блок 3), оперативного управления (блок 4).

Функционирование всей системы начинается с формирования портфеля заказов $\overline{Z}$, который ЛПР вводит в подсистему планирования (блок 2) в качестве исходных данных. Портфель заказов $Z = \bigcup_{k=1}^{K} z_k$ представляет собой задание на уборку полей — сведения о характеристиках полей с зерном z_k. Данные портфеля заказов специфичны для организации каждой уборочной кампании. В общем виде каждое поле z_k представим в виде вектора $z_k = (S_k, U_k, C_k, \sigma_k, K_k),\ k = \overline{1,K}$, где k — номер поля; K — количество полей; S_k — площадь поля, га; U_k — урожайность, ц/га; C_k — срок сбора зерна (агросрок), задаваемый промежутком времени [*d1*; *d2*]; σ_k — тип пшеницы; K_k — класс зерна.

Расчёт решения по заданному портфелю заказов производится на основании данных о характеристиках технологического процесса уборки урожая *D*=(*Y, G, П, L, H*), которые заносятся в базу данных в период внедрения системы на предприятии и обновляются по мере изменения его технического обеспечения. *D* включает данные о характеристиках уборочных *Y*, транспортных средств *G* и технических средств на пункте послеуборочной обработки зерна *П*, а также информацию о сети дорог *L* и о договорных условиях с заготовительным предприятием на хранение зерна *H*.

Множество уборочных средств *Y* — это совокупность $Y = \bigcup_{i=1}^{I} y_i$, где *i* — порядковый номер, *I* — количество. Каждое уборочное средство y_i характеризуется вектором $y_i = (TY_b, NY_e, \lambda y_i, ny_i),\ i = \overline{1,I},\ b = \overline{1,B},\ e = \overline{1,E}$, где TY_b — тип, NY_e — номер уборочного средства данного типа, λy_i — стоимость эксплуатации, грн/ч, ny_i — показатель принадлежности средства предприятию или другой организации, т.е. $ny_i = \begin{cases} 0, \textit{ если средство собственное} \\ 1, \textit{ если средство сторонней организации} \end{cases}$.

Каждый тип средства характеризуется вектором $TY_b = (py_b, V_b),\ b = \overline{1,B}$, где py_b — производительность, т/ч; V_b – вместимость зернового бункера, м^3.

Множество транспортных средств *G* представлено совокупностью $G = \bigcup_{j=1}^{J} g_j$, где *j* — порядковый номер, *J* — количество. Каждое средство g_j характеризуется вектором $g_j = (TG_n, NG_p, \lambda g_j, ng_j),\ j = \overline{1,J},\ n = \overline{1,N},\ p = \overline{1,P}$, где TG_n — тип средства, NG_p — номер средства данного типа, λg_j — стоимость эксплуатации, грн/ч, ng_j — показатель принадлежности средства предприятию или сторонней организации. Каждый тип транспорта представлен

вектором $TG_n = (\varphi_n, \upsilon_n, \omega_n)$, $n = \overline{1,N}$, где φ_n — номинальная грузоподъёмность, т; υ_n — техническая скорость, км/ч; ω_n — показатель способа разгрузки (самосвальное или нет).

Пункт послеуборочной обработки зерна *П* характеризуется вектором *П*=(*QП, pП, W, P*), где *QП* — количество зерна, помещаемое на пункте послеуборочной обработки, т; *pП* — производительность оборудования, т/ч; $W = \bigcup_{m=1}^{M} w_m$ — разгрузочные механизмы, где *m* — порядковый номер, *M* — количество механизмов. $P = \bigcup_{d=1}^{D} p_d$ — погрузочные механизмы, где *d* — порядковый номер, *D* — количество механизмов. Разгрузочный механизм w_m характеризуется вектором $w_m = (TW_s, NW_u, mw_m)$, $m = \overline{1,M}$, $s = \overline{1,S}$, $u = \overline{1,U}$, где TW_s — тип, NW_u — номер механизма данного типа, nw_m — показатель принадлежности механизма предприятию или другой организации. Каждый тип механизма TW_s характеризуется производительностью pw_s, т/ч. Погрузочный механизм p_d определяется вектором $p_d = (TP_v, NP_c, np_d)$, $v = \overline{1,V}$, $c = \overline{1,C}$, $d = \overline{1,D}$, где TP_v — тип, *NPc* — номер механизма, np_d — показатель принадлежности механизма предприятию или другой организации. Погрузочные механизмы определённого типа TP_v обладают производительностью pp_v, т/ч.

Множество участков сети дорог, по которым транспортируют урожай на пункт послеуборочной обработки зерна и заготовительное предприятие, обозначим через совокупность $L = \bigcup_{r=1}^{R} l_r$, где *r* — номер участка, *R* — количество участков, представленные в виде ориентированного графа Γ_L. Каждый участок характеризуется вектором $l_r = (r_r, tp_r)$, $r = \overline{1,R}$, где r_r — картографическое расстояние, км; tp_r — тип покрытия участка пути.

Договорные условия хранения зерна *H* определяются множеством стационарных ёмкостей для хранения зерна $H = \bigcup_{\alpha=1}^{A} h_\alpha$, где α — номер ёмкости, *A* — количество ёмкостей. Каждая ёмкость задана вектором $h_\alpha = (\lambda_\alpha, \sigma_\alpha, K_\alpha)$, $\alpha = \overline{1,A}$, где λ_α — объём, м^3; σ_α — тип пшеницы, K_α — класс зерна.

Для формального описания технологического процесса уборки и транспортировки зерна во времени необходимо установить соответствие между техническими средствами, привлечёнными к работе. Связь между уборочными и транспортными средствами представим в виде функции (1):

$$YG(y_i, g_j) = \begin{cases} 0, \text{если } y_i \text{ ни разу за смену не разгружается в } y_i \\ t_{ij}^{YG}, \text{ если } y_i \text{ хоть раз за смену разгружается в } g_j \end{cases}, \qquad (1)$$

где $t_{ij}^{YG} = (ty_1, ty_2, .., ty_\zeta)$ — моменты времени начала разгрузки *i*-ого уборочного средства в *j*-ое транспортное средство.

Соответствие между транспортными средствами и разгрузочными механизмами определяется функцией (2):

$$GW(g_j, w_m) = \begin{cases} 0, \text{если } w_m \text{ни разу за смену не разгружает } g_j \\ t_{jm}^{GW}, \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (2)$$

где $t_{jm}^{GW} = (tw_1, tw_2, .., tw_\mu)$ — моменты времени начала разгрузки *j*-ого транспортного средства *m*-ым разгрузочным механизмом.

Связь по времени между транспортными средствами и погрузочными механизмами представим в виде (3):

$$GP(g_j, p_d) = \begin{cases} 0, \text{если } g_j \text{ ни разу за смену не будет разгружено } p_d \\ t_{jd}^{GP}, \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (3)$$

где $t_{jd}^{GP} = (tp_1, tp_2, .., tp_\eta)$ — моменты времени начала погрузки *d*-ым погрузочным механизмом зерна в *j*-ое транспортное средство.

Перечисленные данные портфеля заказов $\overline{Z}$ и характеристики технологического процесса уборки урожая $\overline{D}$ служат для решения задачи планирования в блоке 2. На основании этих данных в подсистеме планирования составляются плановые задания $\overline{PL_1^{пл}}$ и $\overline{PL_2^{пл}}$ для всех подразделений объекта управления (блоков 6, 8, 10) и каждого технического средства, входящего в подразделение. Составленный и согласованный с ЛПР, ЛПР1, ЛПР2 и ЛПР3 (блоки 1, 5, 7, 9) план передаётся на объект управления (блоки 6, 8, 10) для организации на его основании уборочно-транспортных работ. В течение дня различными средствами связи в подсистему учёта и контроля (блок 3) передаются фактические показатели работы каждого технического средства $\overline{PL_2^{факт}}$ и интегрированные фактические показатели работы $\overline{PL_1^{факт}}$ каждого подразделения 6, 8, 10. В блоке 3 эти данные сопоставляются с данными подсистемы планирования (блок 2) и формируется невязка план-факт $\Delta\overline{PL_1}$, $\Delta\overline{PL_2}$. Величина рассогласования передаётся в подсистему оперативного управления (блок 4), где рассчитываются возможные варианты по её отработке и выбирается наиболее оптимальный вариант перепланирования $\overline{PL_1^{оп}}$, $\overline{PL_2^{оп}}$. На основании согласованных с ЛПР, ЛПР 1, ЛПР 2, ЛПР3 планов блока 4 производится реорганизация работы объекта управления.

Рассмотрим особенности функционирования ***подсистемы планирования*** (блок 2). В данной работе предлагается следующая постановка задачи планирования: осуществить планирование уборочной кампании таким образом, чтобы зерно с полей было убрано в срок, обработано и заложено на хранение с минимальными затратами на уборочную кампанию.

Для решения задачи планирования решаются следующие подзадачи: разработать плановые задания $\overline{PL_1^{пл}}$ для всех подразделений объекта управления (блоков 6, 8, 10), обеспечивающие минимальные затраты на использование собственных технических средств и привлечённых средств других организаций, и в соответствии с этими заданиями разработать планы работы для каждого подразделения и для каждой задействованной технической единицы $\overline{PL_2^{пл}}$ так, чтобы обеспечивалась максимальная производительность использования техники.

Решение этих подзадач в подсистеме планирования осуществляется на двух уровнях: *верхнем* и *нижнем* (рис. 2). На верхнем уровне определяются плановые задания для каждого

подразделения 6, 8, 10, а нижний уровень обеспечивает выполнение этих заданий составлением планов работы для каждого подразделения и каждого технического средства. Решение задачи планирования на верхнем уровне основывается на начальных данных портфеля заказов $\overline{Z}$ и характеристиках технологического процесса уборки урожая $\overline{D}$. На их основании в блоке 2.1 формируются задания $\overline{pl'_Y}$ для подразделения уборочной техники (рис.1, блок 6) в виде сроков сбора урожая для каждого поля $C'_k \in [C_k]$ и интенсивности сбора урожая $S'_k \in [S_k]$ с периодом квантования — сутки. Если зерну по показателям влажности или засоренности потребуется обработка в подразделении послеуборочной обработки (рис.1, блок 10), что отражено в портфеле заказов, то в блоке 2.2 рассчитываются задания $\overline{pl'_\Pi}$ для технических средств подразделения послеуборочной обработки. Они включают в себя количественные показатели принятого зерна Q'_W, зерна, которое необходимо обработать Q'_Π и обработанного зерна, которое необходимо погрузить в транспортные средства для транспортировки на заготовительное предприятие Q'_P, а также временные характеристики разгрузки, обработки и транспортировки зерна C'_W, C'_Π, C'_P. По данным решениям в блоке 2.3 составляются плановые задания $\overline{pl'_G}$ для подразделения транспортной техники (рис.1, блок 8) в виде показателей количества зерна Q'_G и сроков его транспортировки C'_G. Составленный план $\overline{PL_1^{пл}}$ передаётся ЛПР на утверждение. Если ЛПР с планом не согласен, то производится перепланирование, начиная с блока 2.1. В случае согласия ЛПР с плановым заданием, оно поступает на нижний уровень планирования в блок 2.5, где осуществляется проверка планов на выполнимость. Если техники недостаточно для выполнения плановых заданий верхнего уровня, то отправляется рекомендация к ЛПР об изменении плановых заданий или привлечении дополнительной техники на верхний уровень.

При условии выполнимости заданий в блоках 2.6, 2.7 и 2.8 производится распределение технических средств и составление планов для всех подразделений (рис.1, блоков 6, 8,10) и каждой составляющей подразделения $\overline{pl''_Y}, \overline{pl''_\Pi}, \overline{pl''_G}$ с периодом квантования — смена. В блоке 2.9 полученные планы согласуются по времени и передаются ЛПР1, ЛПР2, ЛПР3 (рис.1, блоки 5, 7, 9) в виде $\overline{PL_2^{пл}}$. Если планы не утверждаются, то расчёты повторяются в блоках 2.6–2.9, в случае утверждения, план $\overline{PL_2^{пл}}$ передаётся на объект управления для организации уборочно-транспортных работ и сохраняется в базе данных.

Функцию учёта и контроля за выполнением работ согласно плану выполняет ***подсистема учёта и контроля*** (блок 3). Она производит учёт результатов работы всех подразделений объекта управления и определяет величину рассогласования между запланированными результатами работы и фактическими. Сбор и регистрацию информации о функционировании объекта управления подсистема 3 осуществляет в двух режимах: *текущего и ситуационного контроля*. Режим текущего контроля работает на двух уровнях управления — верхнем и нижнем, осуществляя сбор информации в конце каждой смены. В отличие от подсистемы 2 текущий контроль ведётся начиная с нижнего уровня управления, на котором производится учёт результатов работы технических средств на каждом технологическом участке и объёма работы каждого технического средства в виде показателя $\overline{PL_2^{факт}}$.

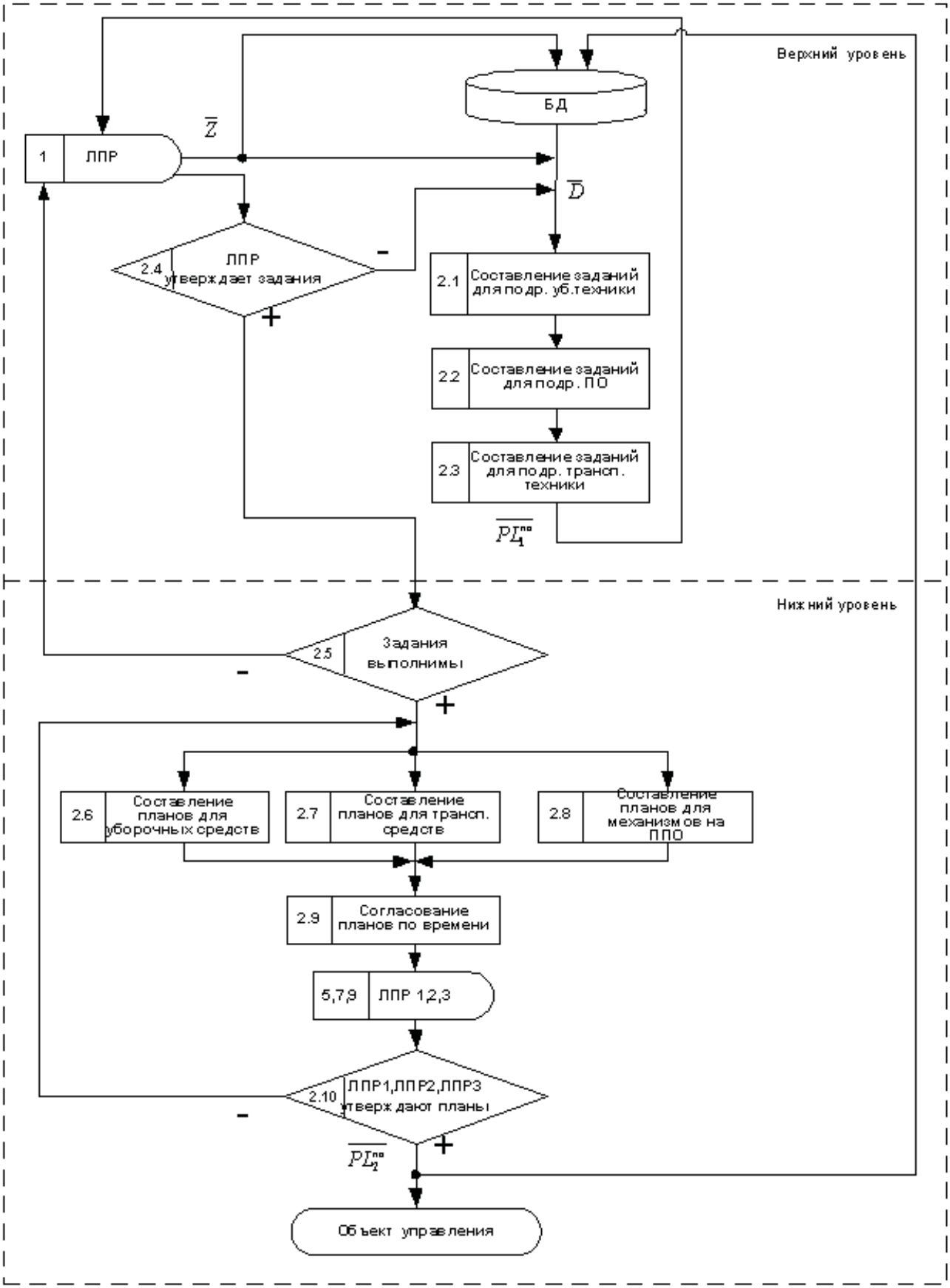


Рис. 2. Функциональная схема подсистемы планирования

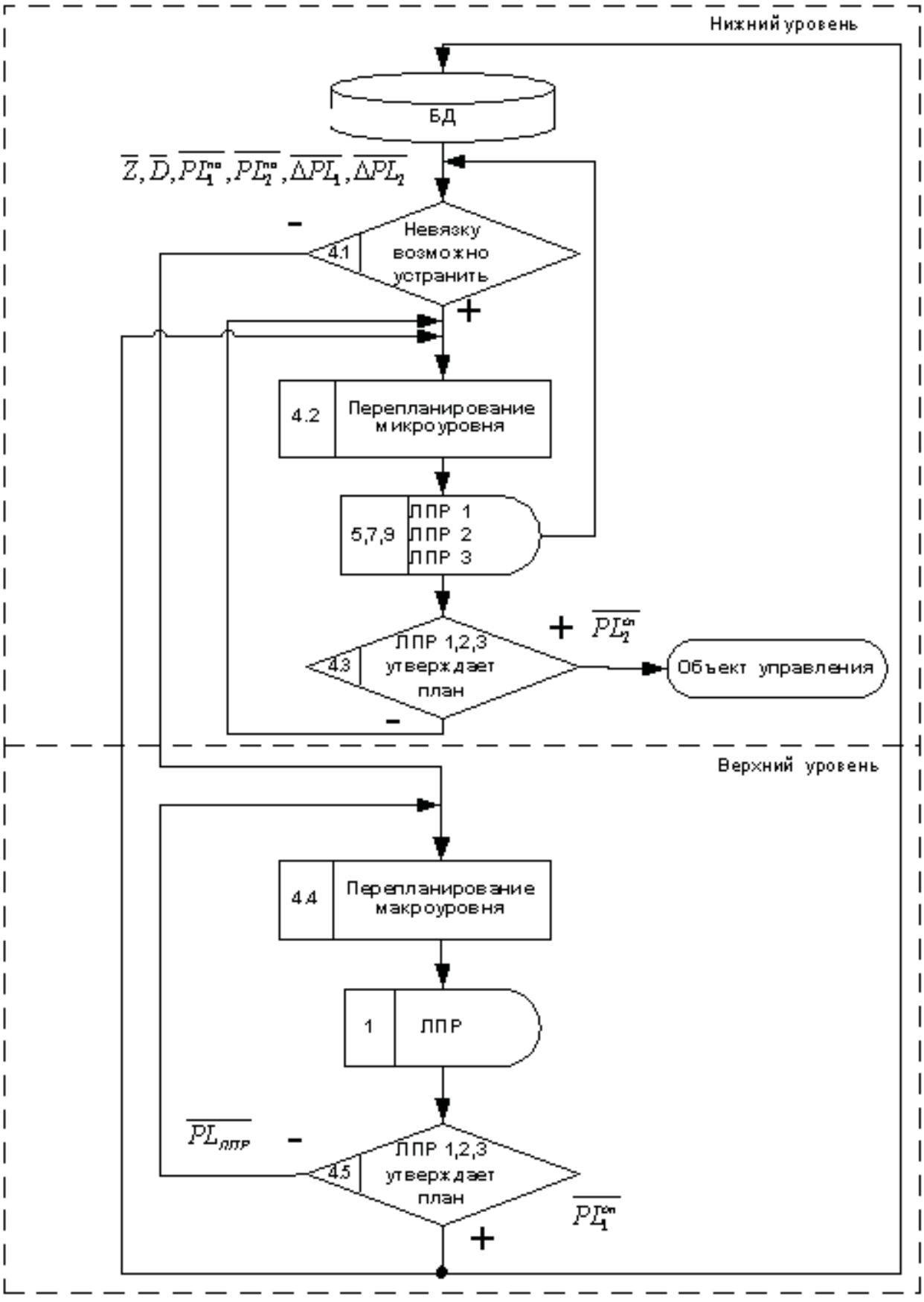


Рис. 3. Функциональная схема подсистемы оперативного управления

На верхнем уровне производится сбор данных по результатам работы каждого подразделения в виде интегрированного показателя $\overline{PL_1^{факт}}$. На основании этих данных подсистема 3 путём сравнения фактических показателей с планируемыми определяет рассогласования $\Delta\overline{PL_1}$, $\Delta\overline{PL_2}$. В режиме ситуационного контроля производится сбор информации с объекта управления при наличии нарушения функционирования технических средств в результате поломки или из-за неблагоприятных условий внешней среды. Таким образом, в режиме ситуационного контроля производится учёт таких показателей, как количество уборочной техники, транспортной техники, разгрузочной техники и погрузочной техники, а также показателей производительности работы подразделения послеуборочной обработки и состояния дорог.

В случае возникновения рассогласования активизируется **подсистема оперативного управления** (блок 4), которая производит перепланирование работы подразделений объекта управления с целью устранения полученного рассогласования (рис. 3).

На вход подсистемы оперативного управления из базы данных поступают рассогласования $\Delta\overline{PL_1}$, $\Delta\overline{PL_2}$, $\Delta\overline{PL_2'}$, исходные данные $\overline{Z},\overline{D}$ и планы работы $\overline{PL_1^{пл}},\overline{PL_2^{пл}}$. Составление оперативных планов работы по устранению невязок осуществляется в первую очередь на нижнем уровне управления. В случае, если на этом уровне невязку устранить невозможно имеющимися ресурсами (блок условия 4.1), то осуществляется перепланирование заданий на верхнем уровне управления в блоке 4.4. На основании новых заданий $\overline{PL_1^{оп}}$ для подразделений объекта управления, рассчитанных на верхнем уровне и утверждённых ЛПР, формируются планы работы $\overline{PL_2^{оп}}$ на нижнем уровне управления в блоке 4.2. Новый план передаётся ЛПР1, ЛПР2 и ЛПР3 на утверждение. Утверждённый план поступает на объект управления для организации работы в агротехнических подразделениях.

Выводы

Научная новизна полученных результатов заключается в развитии метода принятия решений при управлении уборочной кампанией, отличающегося от существующих использованием динамических характеристик функциональных задач. Практическая значимость определяется тем, что АСУУТР является инструментарием для принятия согласованных решений организатором уборочной кампании в соответствии с технологическими и погодными условиями.

Список литературы

1. Каверін В.А. Зменшення втрат сільськогосподарської продукції при перевезеннях. — Київ: Урожай, 1992. — 199с.

2. Ловчиков А.П. Организация уборочно-транспортных комплексов с иерархическим технологическим контролем // Техника в сельском хозяйстве. — М. № 2, 2006. — С.28–31.

3. Бакурадзе Л.А. Математическая модель и алгоритм навигации уборочно-заготовительных кампаний в АПК//Научный журнал КубГАУ, №30(6), 2007.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2007 р.

УДК 621.43.054

ВАЖЕВ А.Я., ЧУХАРКИН А.В.,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА БАЗЕ ЦИКЛОВ ОТТО И АТКИНСОНА

Рассмотрены существующие циклы двигателей внутреннего сгорания, приведены отличия между циклами Отто и Аткинсона. Проанализированы негативные явления, возникающие при работе двигателей, представлены пути их решения. Показаны преимущества цикла Аткинсона, при реализации которого снижается вероятность детонационного сгорания топлива.

Введение

В современных автомобилях наибольшее распространение получили поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Это определяется рядом их преимуществ в сравнении с другими тепловыми двигателями. Видимо, в ближайшие годы ДВС останутся доминирующими для автомобильного транспорта, а также строительных и дорожных машин, невзирая на внедрение двигателей других типов (сейчас в единичном производстве выпускают автомобили с роторными двигателями, с гибридными установками и т.д.).

Производство автомобилей растет с каждым годом, поэтому наиболее актуальной проблемой является снижение расхода топлива, поскольку по прогнозам ученых запасов нефти на Земле осталось 70-80 лет. Но в ближайшие 10-30 лет двигатели легкого топлива останутся основным видом ДВС.

Постановка проблемы

В настоящее время происходит существенное усовершенствование двигателей для автотракторной техники: широкое внедрение газовых, комбинированных ДВС, применения систем непосредственного впрыска топлива, электронных систем управления и регулировок двигателя. Эти меры позволили снизить токсичность отработанных газов и уменьшить расход топлива [4].

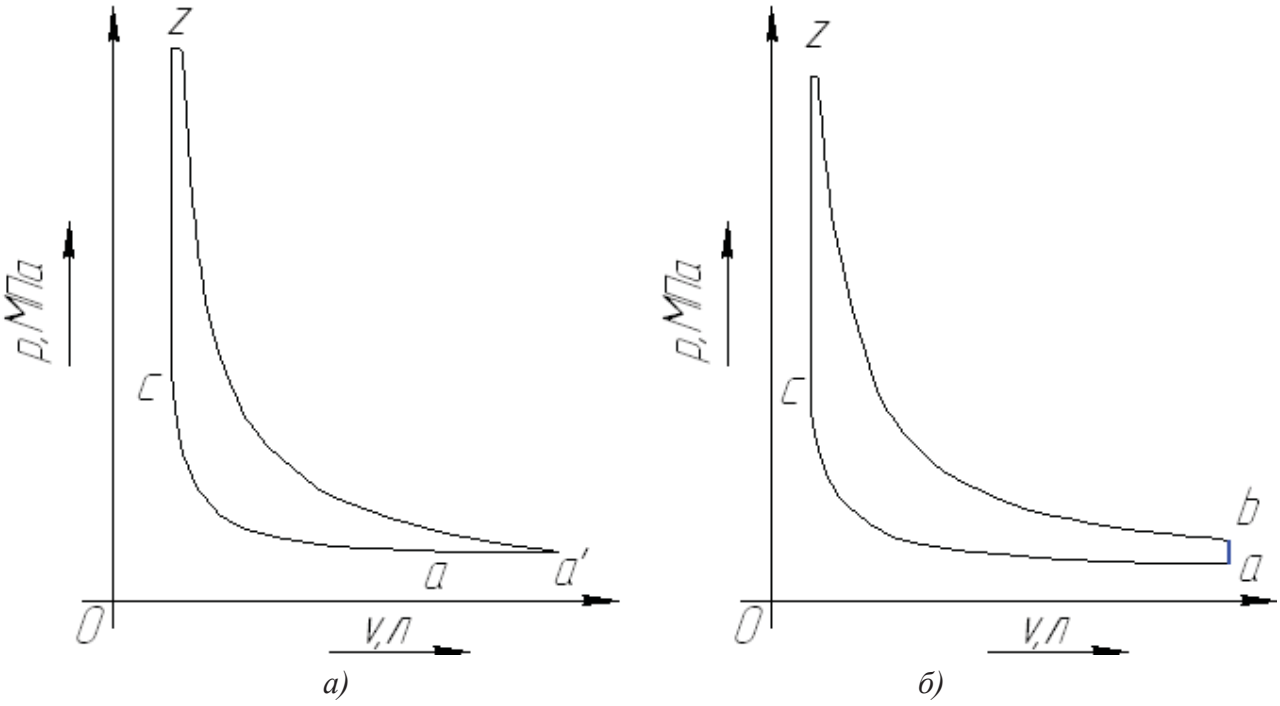
С учетом роста производства автомобилей увеличивается загрязнение окружающей среды отработанными газами. Поэтому для снижения их токсичности разрабатываются новые или улучшаются существующие конструкции двигателей, внедряют мероприятия по совершенствованию рабочего процесса в двигателе, выбора оптимальных режимов его работы и оптимизации параметров систем питания и воспламенения.

В Европе с 2005 года действуют экологические нормы Евро IV, а уже с 2010 года в силу вступят стандарты Евро V, а в Украине действуют обязательные для новых автомобилей нормы Евро II, которые запрещают ввоз и продажу автомобилей на территорию страны, если они не соответствуют экологическим стандартам.

Экстенсивное повышение мощностных показателей двигателя достигается за счет увеличения рабочего объема его цилиндров. Но это сопровождается увеличением эксплуатационного расхода топлива, массы и габаритов ДВС. Важным направлением интенсивного пути улучшения энергетических показателей является увеличение наполнения, повышение степени сжатия, совершенствование рабочего процесса и применение наддува.

Основной раздел

Одним из путей повышения эффективности действительных циклов ДВС является реализация теоретического цикла Аткинсона. В нём процесс отвода теплоты является изобарным (*aa'* на рис. 1, *а*), а у классического цикла Отто — изохорным (*ba* на рис. 1, *б*). Это позволяет добиться увеличения КПД. Кроме того, возможно осуществление смешанного цикла с изохорным и изобарным отведением теплоты (*ba'a* на рис. 2) [1].



а) *б)*

Рис. 1. Индикаторные диаграммы с изохорным (а) и с изобарным (б) отводом теплоты

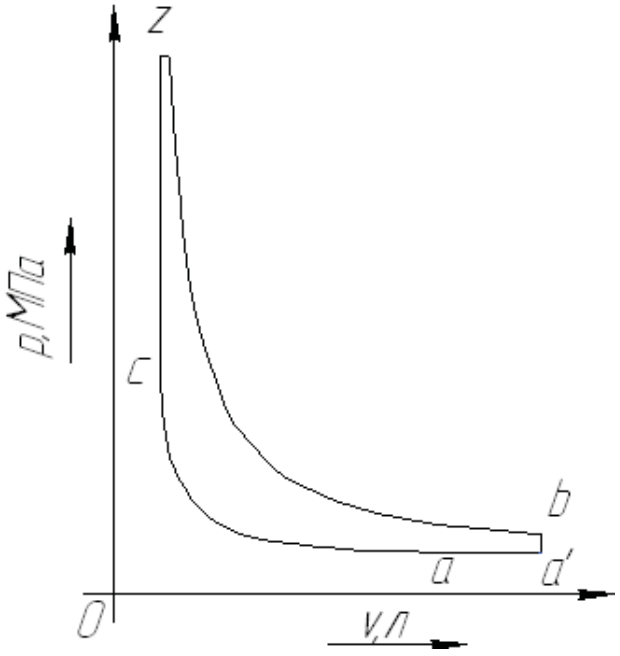


Рис. 2. Индикаторная диаграмма со смешанным отводом теплоты

Бензиновые двигатели имеют ограничение форсирования по степени сжатия (до 11,0 в двигателях с распределённым впрыском, до 12 — с непосредственным впрыском). При больших значениях возможно возникновение детонационного сгорания топлива.

Цикл Аткинсона позволяет работать двигателю при такте сжатия по одному значению степени сжатия — фактическому, а на такте расширения, — по другому значению степени сжатия — геометрическому. Это снижает вероятность появления детонации. Снижает вероятность детонации и то, что смесь, выталкиваемая из цилиндров при движении поршня вверх до момента закрытия клапана, выносит с собой во впускной коллектор часть тепла, отобранного от стенок камеры сгорания.

Большинство бензиновых двигателей работает по циклу немецкого инженера Николаса Отто. Отличает его от других циклов то, что впускной клапан закрывается вблизи нижней мертвой точки (НМТ) (рис.3).

На рисунке 3 показана диаграмма длительности открытия впускных клапанов.

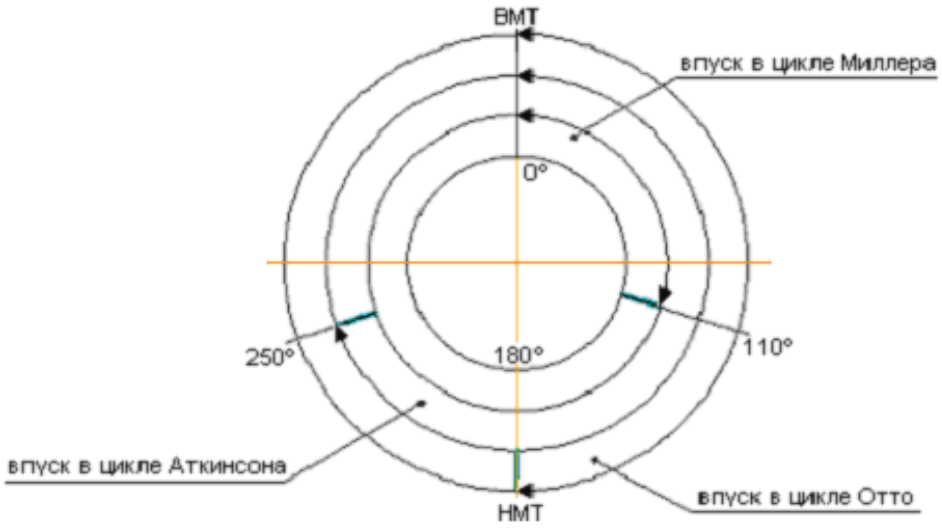


Рис. 3. Длительность открытия впускных клапанов

Кроме циклов Отто и Аткинсона, известен цикл Миллера (впускной клапан закрывается значительно раньше прохождения поршнем НМТ (рис.3)), однако по эффективности он уступает циклу Аткинсона. В двигателях, которые работают с использованием этих циклов, изменение наполнения цилиндра при регулировании нагрузки без применения дроссельной заслонки проводится только изменением фазы впуска [5]. Цикл Аткинсона, это, по существу, усовершенствованный классический ДВС. Разница заключается в фазах газораспределения. Усовершенствованный двигатель работает по циклу британского инженера Джеймса Аткинсона, поэтому в литературе его часто называют двигателем «Аткинсона».

Чтобы уменьшить негативные явления, которые возникают при работе двигателя с классической схемой фаз газораспределения, в цикле Аткинсона впускной клапан закрывается не вблизи нижней мертвой точки, а значительно позже (рис. 3). При этом, во время запаздывания закрытия впускного клапана при движении поршня вверх происходит не дозарядка, а наоборот, вытеснение части смеси во впускную систему, то есть происходит обратный выброс, тем самым уменьшая в нем разряжение.

Во многих случаях при малых числах оборотов (не превышающих 20–30% от максимальных) инерция потока воздуха или смеси небольшая и вместо дозарядки, особенно в самом конце впуска, наблюдается обратный выброс, ухудшающий наполнение на малых оборотах.

Аналитические расчеты и значительное количество опытов, проведенных в Московском автомеханическом институте по исследованию процесса наполнения, позволяют сделать следующие выводы по углу запаздывания закрытия отверстия впуска [2]:

1. На малых числах оборотов сила инерции потока горючей смеси или воздуха, особенно при коротком трубопроводе, небольшая. Одновременно с этим, давление впуска очень близко к атмосферному, поскольку скорость поступления смеси в цилиндр незначительна. В результате этого, при малых скоростях поршня даже при угле запаздывания в 20° уже наблюдается обратный выброс, который растет по мере увеличения этого угла.

2. На средних числах оборотов силы инерции потока смеси увеличиваются. Одновременно с этим давление впуска, а следовательно, и давление в начале сжатия снижаются. Вследствие этого вблизи нижней мертвой точки начинается дозарядка, переходная постепенно по мере подъема поршня в обратный выброс. Количественно эти два противоположных явления при углах запаздывания закрытия в 20 и 40° приблизительно равны, и коэффициент полноты заряда близок к единице. При больших углах запаздывания закрытия впускного клапана (60–80°) обратный выброс больше дозарядки и коэффициент полноты заряда становится меньше единицы. Однако изменение угла запаздывания в интервале 40–60° на средних числах оборотов сравнительно мало отражается на весовом наполнении.

3. На больших числах оборотов силы инерции потока смеси или воздуха резко увеличиваются. В то же время, давление в цилиндре при впуске и в начале сжатия уменьшается. Увеличения сил инерции и снижения давления в цилиндре способствуют увеличению дозарядки до 20% и уменьшению или даже прекращению обратного выброса.

В соответствии с вышеизложенным, каждому числу оборотов вала должен отвечать выгодный угол запаздывания закрытия клапана впуска, при котором весовое наполнение достигает максимума. Для оптимального наполнения двигателя желательно сделать трубопровод впуска переменной длины и по мере роста числа оборотов его укорачивать, а угол запаздывания закрытия впускного клапана увеличивать.

Обеспечить обратный выброс в полости перед клапаном впуска можно путем подключения к этой полости тупикового ответвления или резонатора Гельмгольца. Для обеспечения обратного выброса можно использовать как «настроенную» систему впуска, так и резонатор Гельмгольца [3].

В цикле Аткинсона количество смеси в цилиндре регулируется за счет обратного выброса смеси после НМТ изменением запаздывания закрытия впускного клапана. Проблемой при создании двигателя, который работает по данному циклу, кроме создания системы управления фазами впуска, является необходимость повышать теоретическую степень сжатия. Для управления фазами открытия впускного клапана разработаны системы с гидромеханическим или электромагнитным приводом клапанов. Работы по созданию таких систем ведутся различными фирмами.

Наибольшего успеха в этом отношении достигла фирма «Mazda», которая в мелкосерийном производстве выпустила автомобиль Xedos 9 (Millenia или Eunos 800) с двигателем, который работает по циклу Аткинсона с нагнетателем воздуха. Также цикл Аткинсона привлек внимание фирмы «Toyota», которая начала его использование в малонагруженном двигателе гибридной установки автомобиля Prius.

Был проведён сравнительный расчет по методу теплового расчета двигателей цикла Отто при степенях сжатия ε=9, ε=11 и цикла Аткинсона при степенях сжатия ε=9 и ε=11, а степени расширения ε=11 и ε=13. Полученные результаты сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Результаты расчета для цикла Отто при ε=11 и цикла Аткинсона при ε=11/13

Параметры	Единицы измерения	Цикл Отто	Цикл Аткинсона
Степень сжатия		11	11/13
Показатель политропы процесса сжатия		1,34	1,34
Показатель политропы процесса расширения		1,25	1,25
Давление в конце процесса расширения	МПа	0,45	0,365
Температура в конце процесса расширения	К	1530	1467
Действительная температура остаточных газов	К	956	983
Теоретическое среднее индикаторное давление	МПа	1,259	1,34
Среднее индикаторное давление	МПа	1,20	1,28
Индикаторный КПД		0,37	0,40
Индикаторный удельный расход топлива	г/(кВт•час).	220	207
Среднее эффективное давление	МПа	1,05	1,12
Механический КПД		0,87	0,878
Эффективный КПД		0,324	0,348
Эффективный удельный расход топлива	г/(кВт•час)	253	236
Мощность двигателя	кВт	87,6	94,1
Часовой расход топлива	кг/час	22,17	22,17
Крутящий момент	Н•м	167,3	179,7

Таблица 2

Результаты расчёта для цикла Отто при ε=9 и цикла Аткинсона при ε=9/13

Параметры	Единицы измерения	Цикл Отто	Цикл Аткинсона
Степень сжатия		9	9/13
Показатель политропы процесса сжатия		1,34	1,34
Показатель политропы процесса расширения		1,25	1,25
Давление в конце процесса расширения	МПа	0,457	0,3
Температура в конце процесса расширения	К	1589,14	1449,67
Действительная температура остаточных газов	К	988,2	1050,7
Теоретическое среднее индикаторное давление	МПа	1,17	1,36
Среднее индикаторное давление	МПа	1,12	1,296
Индикаторный КПД		0,35	0,40
Индикаторный удельный расход топлива	г/(кВт•час).	234,4	203,14
Среднее эффективное давление	МПа	0,967	1,14
Механический КПД		0,861	0,88
Эффективный КПД		0,30	0,355
Эффективный удельный расход топлива	г/(кВт•час)	272,18	230,95
Мощность двигателя	кВт	81,0	95,5
Часовой расход топлива	кг/час	22,04	22,04
Крутящий момент	Н•м	154,67	182,3

Сравнительный анализ показал, что при сравнении цикла Отто с циклом Аткинсона при различных степенях сжатия были получены следующие результаты:

– повысился теоретический индикаторный КПД на 0,03÷0,05;

– повысился теоретический эффективный КПД на 0,024÷0,055;

– уменьшился индикаторный удельный расход топлива на 13÷27 г/(кВт•час);

– уменьшился эффективный удельный расход топлива на 17÷37 г/(кВт•час);

– повысилась номинальная мощность двигателя на 7÷14 кВт;

– увеличился крутящий момент на 12÷27 Нм.

Исходя из указанных преимуществ, экономическая целесообразность применения цикла Аткинсона очевидна.

Выводы

Таким образом, можно сделать следующий вывод, что при применении цикла Аткинсона повышается КПД, увеличивается мощность и крутящий момент двигателя, уменьшается расход топлива. Следует отметить, что цикл Аткинсона является весьма перспективным, поскольку ведущие мировые автомобильные фирмы уже заинтересовались данной разработкой, и постепенно внедряют ее в жизнь.

Можно допустить, что за двигателями, работающими по циклу Аткинсона, будущее, поскольку теоретически преимущества данного цикла более чем очевидны, но при этом, безусловно, необходима достаточная экспериментальная база.

Список литературы

1. Архаров А.М., Исаев С.И., Кожинов И.А. и др Теплотехника: Учебник для студентов втузов Под общ. Ред. В.И. Крутова. — М.: Машиностроение, 1986.-432с.

2. Ленин И.М., Костров А.В. Теория двигателей и системы их топливоподачи. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. — М., Высшая школа, 1976. 368 с.

3. Обеспечение обратного выброса в ДВС. Республиканский междуведомственный науч. — техн. сборник. Из-во при Харьковском государственном университете. Зав. ред. Е.П. Иващенко, 1989. 85 с.

4. Роговцев В.Л., Пузанков А.Г., Олдвильд В.Д. Устройство и эксплуатация автотранспортных средств. — М.: Транспорт, 1991. — 432 с.

5. Тимченко І.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Муждобаєв М.Р. Автомобільні двигуни. — Харків.: Основа, 1995. — 464 с.

Стаття надійшла до редакції 17.12.2007 р.

УДК 531.8

ВОЛОХОВ А.С., ВЕРБИЦКИЙ В.Г., д.ф.-м.н., проф., МАКАРОВ В.А., к.т.н.,доц.,
Донецкий институт автомобильного транспорта

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ С УЧЕТОМ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ В ПЯТНЕ КОНТАКТА КОЛЕС

Предпринята попытка построения математической модели автомобиля, которая давала бы возможность исследовать как стационарные режимы движения, так и неустановившиеся.

Введение

Выбор той или иной математической модели при анализе динамических качеств АТС обычно продиктован очевидным принципом «минимальной достаточности» и преемственности по отношению к ранее рассмотренным моделям.

Анализ последних достижений. Одной из наиболее полно исследованных задач нелинейной механики экипажей является задача определения множества стационарных состояний системы, подходы к ее решению были разработаны Я.М. Певзнером [1] для случая велосипедной плоской модели. В конце прошлого века эта модель вновь привлекла к себе внимание исследователей в связи с развитием методов бифуркационного анализа [2] – многие свойства установившихся режимов движения (изменение количества стационарных режимов; появление кратных стационарных режимов; дивергентная потеря устойчивости) находят свое отражение в усложнении соответствующего бифуркационного множества модели (точки заострения или самопересечения), указывая на критические значения параметров управления – угла поворота управляемых колес и значения продольной скорости движения.

В работах [3, 4] представлены примеры локального и глобального анализа бифуркационного множества (критического множества параметров) симметричной модели автомобиля; в [5, 6] анализируется критическое множество асимметричной модели автомобиля (жесткостная неоднородность, конусность).

Цель работы

Построение математической модели легкового автомобиля, которая давала бы возможность исследовать как стационарные режимы движения, так и неустановившееся движение; учитывала «динамическую» асимметрию системы, связанную с перераспределением вертикальных реакций по осям и бортам АТС, а также взаимовлияние поперечных и продольных сил в пятне контакта каждого колеса с опорной поверхностью.

Основной раздел

1. Исходные предположения

Рассмотрим плоско-параллельное движение автомобиля с учетом квази-статического перераспределения вертикальных реакций по осям и бортам. В пятне контакта колес с опорной поверхностью действуют продольные силы $\overline{X}_{i,j}$, $(i=1,2;\ j=1,2)$ (тормозные или тяговые), поперечные $\overline{Y}_{i,j}$, $(i=1,2;\ j=1,2)$ (силы увода) и пяточный момент $M_{i,j}$, (i=1, 2; j=1, 2), представляющий главный момент системы элементарных сил увода, действующих в пятне

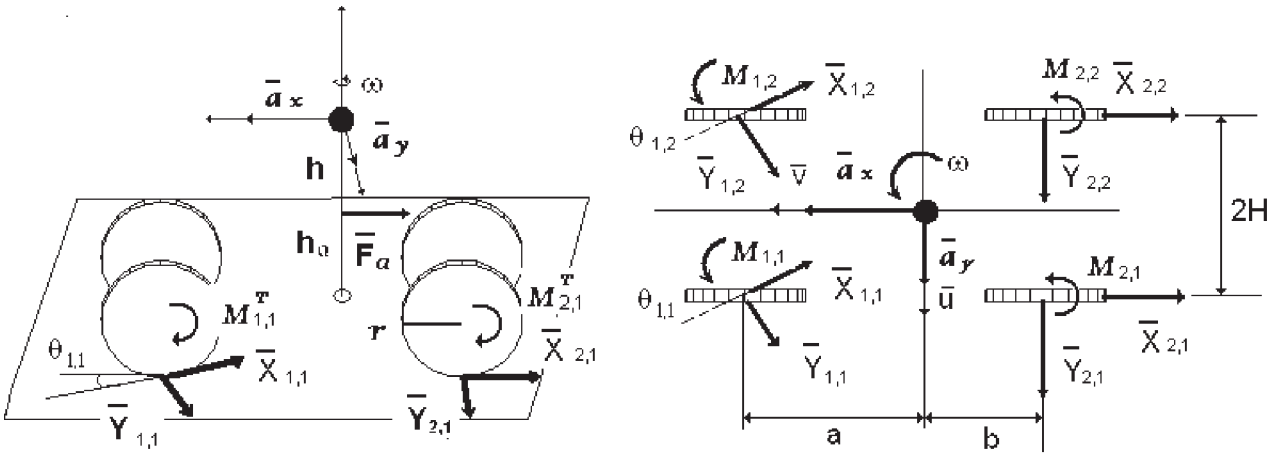
контакта. К колесам приложен момент сопротивления качению $m^{ck}_{i,j}$, (i=1, 2; j=1, 2), крутящий $M^{K}_{i,j}$, (i=1, 2; j=1, 2) или тормозной $M^{T}_{i,j}$, (i=1, 2; j=1, 2) моменты; автомобиль испытывает действие сил аэродинамического сопротивления $F_a = C_x A_x \rho \dfrac{v^2}{2}$ (учтена только продольная составляющая), где

C_x — безразмерный коэффициент, приближенно может считаться постоянным; A_x — площадь поперечного сечения; ρ — плотность воздуха (примем равной 1,199 *кг/м*^{3}, что соответствует нормальным условиям).

Состояние системы (рис.1, *а, б*) определяют три фазовые переменные: продольная составляющая скорости центра масс v; поперечная составляющая скорости центра масс u; угловая скорость АТС относительно вертикальной оси ω. Будем считать автомобиль абсолютно жестким, т.е. он не обладает степенью свободы по крену и тангажу, в этом случае его центр масс будет находиться на неизменном расстоянии от опорной поверхности. Наличие ненулевых составляющих ускорения центра масс приводит к перераспределению вертикальных реакций опорной поверхности. Для рассматриваемого случая «жесткой модели» на перераспределение вертикальных реакций оказывают влияние передача крутящего или тормозного моментов, момент силы аэродинамического сопротивления; учтем также влияние гироскопических моментов на перераспределение вертикальных реакций по бортам .

Величина гироскопического момента (случай приближенной теории) пропорциональна величине кинетического момента колес передней и задней осей $j_{a,b}\,\Omega_{a,b}$ ($\Omega_{a,b}$ — соответствующие угловые скорости собственного вращения колес первого и второго рядов) и угловой скорости ω прецессионого движения (угловой скорости АТС). При этом внешние, относительно центра поворота, колеса догружаются на величину $j_{a,b}\,\Omega_{a,b}\omega/2H$, а внутренние — на такую же величину разгружаются.

На плоскости дороги положение АТС будет задаваться координатами центра масс (x_c, y_c) и курсовым углом ψ (угол между продольной осью АТС и некоторым неизменным направлением в плоскости дороги).



а) *б)*

Рис. 1. Расчетная схема модели легкового автомобиля

Пусть m — масса и J_z — центральный момент инерции системы относительно вертикальной оси, a, b — расстояние центра масс экипажа до передней и задней колесных осей (l — расстояние между передней и задней колесными осями); H — половина колеи; h — высота центра масс над опорной поверхностью; h_a — высота метацентра над опорной поверхностью.

2. Уравнения движения «жесткой» модели и анализ сил взаимодействия колеса с опорной поверхностью

Уравнения плоскопараллельного движения жесткой двухосной модели экипажа (вертикальная продольная плоскость, проходящая через середины колесных осей, является плоскостью геометрической симметрии) имеют вид:

$$m(\dot{v}-\omega u)=-Y_{1,1}(\delta_{1,1})\sin\theta_{1,1}-Y_{1,2}(\delta_{1,2})\sin\theta_{1,2}-$$
$$-X_{1,1}\cos\theta_{1,1}-X_{1,2}\cos\theta_{1,2}-X_{2,1}-X_{2,2}-F_a;$$
$$m(\dot{u}+\omega v)=Y_{1,1}(\delta_{1,1})\cos\theta_{1,1}+Y_{1,2}(\delta_{1,2})\cos\theta_{1,2}+Y_{2,1}(\delta_{2,1})+Y_{2,2}(\delta_{2,2})-$$
$$-X_{1,1}\sin\theta_{1,1}-X_{1,2}\sin\theta_{1,2};$$
$$J\dot{\omega}=a(Y_{1,1}(\delta_{1,1})\cos\theta_{1,1}-X_{1,1}\sin\theta_{1,1}+Y_{1,2}(\delta_{1,2})\cos\theta_{1,2}-X_{1,2}\sin\theta_{1,2})-$$
$$-(Y_{2,1}(\delta_{2,1})+Y_{2,2}(\delta_{2,2}))b+H(Y_{1,1}(\delta_{1,1})\sin\theta_{1,1}+X_{1,1}\cos\theta_{1,1}-Y_{1,2}(\delta_{1,2})\sin\theta_{1,2}-$$
$$-X_{1,2}\cos\theta_{1,2}+X_{2,1}-X_{2,2})+M_{1,1}(\delta_{1,1})+M_{1,2}(\delta_{1,2})+M_{2,1}(\delta_{2,1})+M_{2,2}(\delta_{2,2});$$
$$\delta_{1,1}=\theta_{1,1}-arctg\frac{u+a\omega}{v-H\omega};\ \delta_{1,2}=\theta_{1,2}-arctg\frac{u+a\omega}{v+H\omega};\ \delta_{2,1}=arctg\frac{-u+b\omega}{v-H\omega};$$
$$\delta_{2,2}=arctg\frac{-u+b\omega}{v+H\omega},$$

где v — продольная составляющая скорости центра масс; u — поперечная составляющая скорости центра масс экипажа; ω — угловая скорость относительно вертикальной оси; $\delta_{1,1}$, $\delta_{1,2}$, $\delta_{2,1}$, $\delta_{2,2}$ — углы увода на колесах передней и задней осей; $\theta_{1,1}$, $\theta_{1,2}$ — углы поворота управляемых колес первого ряда. Эти уравнения следует дополнить уравнениями вращательного движения каждого колеса, это даст возможность определить величину продольного проскальзывания и продольной силы в пятне контакта

$$J_{i,j}\dot{\Omega}_{i,j}=-(m^{ck}{}_{i,j}\pm M^{T,K}{}_{i,j})\pm X_{i,j}\cdot r,$$

где знаку «+» соответствует режиму торможения, а «– » – разгона.

3. Модель взаимодействия колеса с опорной поверхностью (E., Fiala [7])

Рассмотрим более детально соответствующую методику определения сил взаимодействия колеса с опорной поверхностью. Ее особенностью является учет взаимовлияния продольных и поперечных сил в пятне контакта. Взаимовлияние продольных и поперечных сил в модели E., Fiala реализуется через некоторый эффективный коэффициент трения скольжения μ, который является функцией полного относительного проскальзывания

$$\mu=\mu^O-\sqrt{Sx^2+(1-Sx)^2\left|\tan(\alpha)\right|^2}\ \ (\mu^O-\mu^1).$$

Относительное проскальзывание колеса в продольном направлении определяется соотношением

$$S_{xi,j}=\frac{v_{cxi,j}-\Omega_{i,j}\cdot r}{v_{ci,j}},$$

проскальзывание в поперечном направлении определяется как

$$S_{yi,j} = \frac{v_{cyi,j}}{v_{ci,j}};$$

или в виде функции угла увода

$$S_{yi,j} = (1 - S_{xi,j}) \cdot \tan(\delta_{i,j}).$$

Сила в продольном направлении (сила трения или тяги) описывается сплайном (рис.2), при малом продольном проскальзывании S_x продольная сила меняется по линейному закону, при проскальзывании большем S_{xmax} приобретает существенно нелинейный характер (имеет явно выраженный максимум).

$$F_x = \begin{cases} S_x C_s, & S_x < S_{x\max}; \\ \mu F_z - \frac{1}{4}\frac{\mu^2 Fz^2}{S_x C_s}, & S_x > S_{x\max}. \end{cases} \quad S_{\max} = \frac{1}{2}\frac{\mu F_z}{C_s}$$

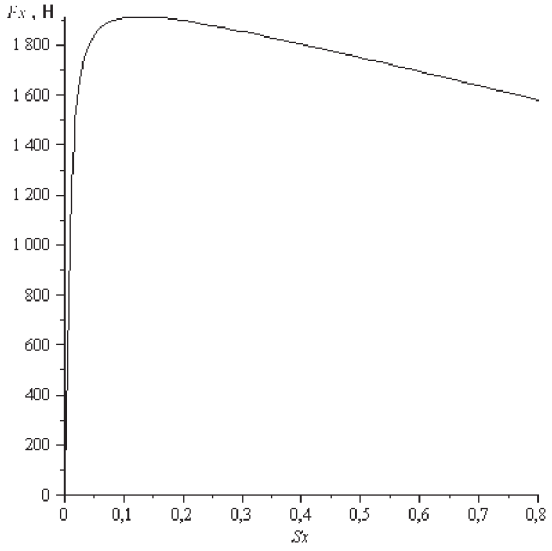


Рис. 2. График зависимости величины продольной силы в пятне контакта колеса как функции относительного проскальзывания в продольном направлении

Для сравнительного анализа взаимовлияния продольных и поперечных сил приведем максимальные значения продольной силы при движении колеса с уводом и без него, реализуемые для приведенного ниже набора параметров: $\mu 0$=1,05...$\mu 1$=0,75 — диапазон изменения эффективного коэффициента трения скольжения; Cs=110000 H — значение коэффициента проскальзывания в области $S_x < S_{xmax}$; Fz = 1960 H — нагрузка на колесо

$Fx\ max$(0.1)=1882.9 H; (угол увода = 0.12 *рад*);

Fx max(0.1)=1908.4 *H* (угол увода = 0).

Сила увода и пяточный момент являются нелинейными функциями угла увода (далее обозначается как α), «переменный» эффективный коэффициент трения скольжения μ реализует взаимовлияние «конкурирующих» продольных и поперечных сил (здесь *Calpha* — коэффициент бокового увода; *R2* — параметр, характеризующий ширину протектора)

$$H = 1 - \frac{1}{3}\frac{Calpha\left|\tan(\alpha)\right|}{\mu Fz};$$

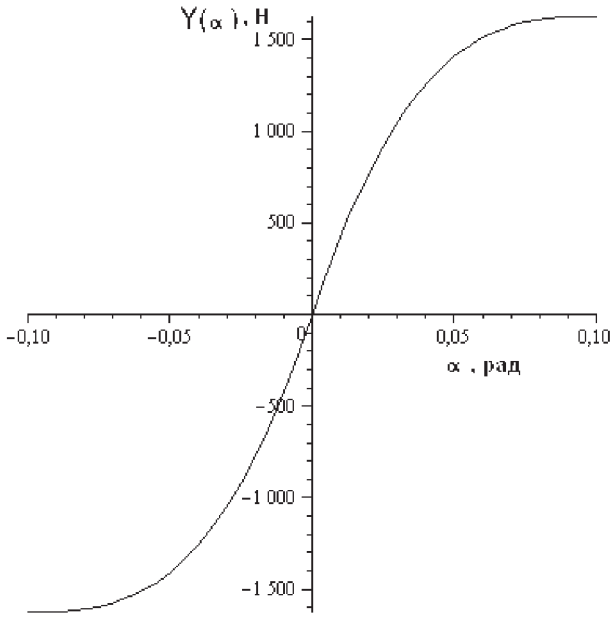
$$Y(\alpha) = \mu\, Fz\ (1–H3)\ signum(\alpha);$$

$$M(\alpha) = 2\ signum(\alpha)\ \mu\ FzR2\ (1–H)H3.$$

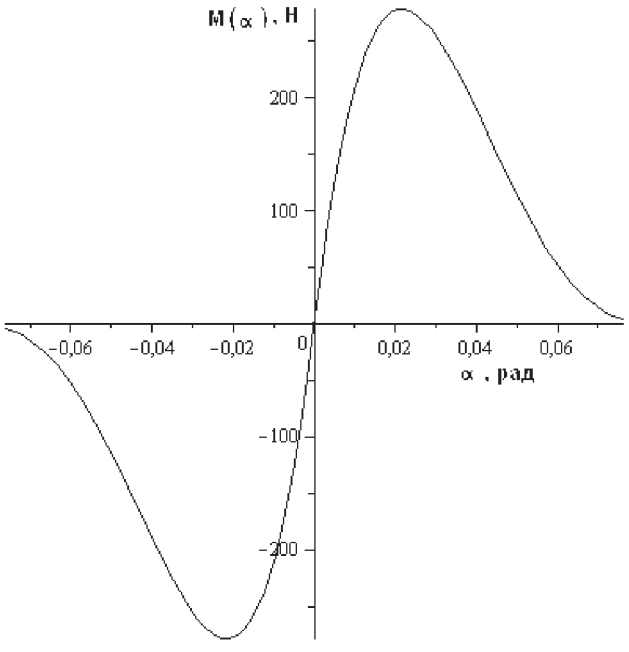
Линеаризация этих зависимостей как функций угла увода в окрестности нуля приводит к простым соотношениям, вскрывающим механический смысл констант *Calpha, R2* (пяточный момент в данном случае может интерпретироваться как момент равнодействующей системы распределенных сил, имеющих треугольную эпюру с основанием *R2*, относительно ее вершины):

$$Y(\alpha) = Calpha\cdot\alpha;\ M(\alpha) = \frac{2}{3}R2\cdot Calpha\cdot\alpha.$$

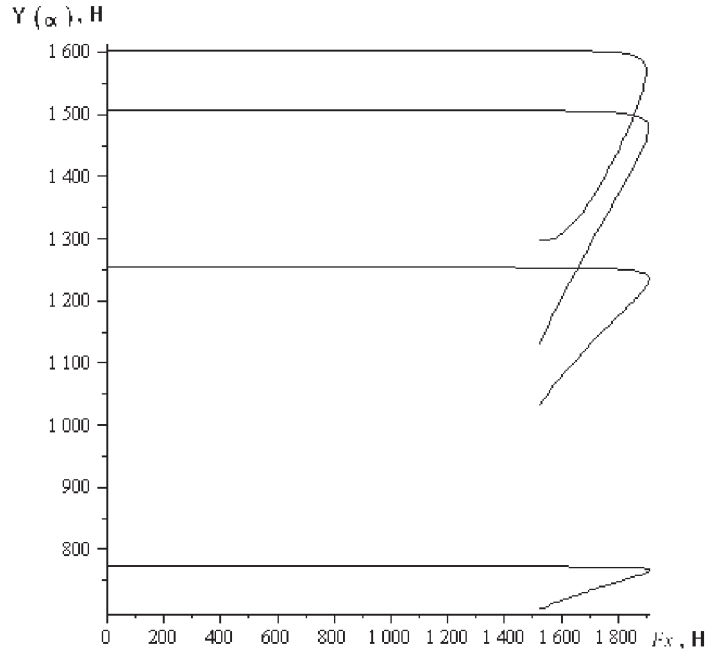
При углах увода, превышающих некоторое предельное значение $\alpha^* = \arctan(3\mu\cdot Fz/C_\alpha)$, происходит полное скольжение в поперечном направлении, в этом случае пяточный момент становится равным нулю (рис.3, а), а сила увода достигает максимума (рис.3, б) $Y_{max}=\mu F_z$ Представленные на рисунке 3, а) – в) зависимости получены при следующих значениях параметров: F_z=1960 *H*; *Calpha*=46980 *H/рад*; *R2*=0,0975 *м*; *μ0*=1,05; *μ1*=0,75.



а)



б)



в)

Рис. 3. *а*) Зависимость силы бокового увода от угла увода; *б*) Зависимость пяточного момента от угла увода; *в*) Зависимость силы бокового увода от продольных сил при условии постоянства углов увода (0,2 *рад*; 0,4 *рад*; 0,6 *рад*; 0,11 *рад*)

Из рисунка 3, *в)* следует, что силы увода в пятне контакта существенно зависят от величины продольных сил (тормозных или тяговых), реализация последних в реальных условиях движения неизбежна.

Выводы

Точные количественные оценки влияния этих факторов (наличие продольных сил в пятне контакта ведущих колес) на устойчивость стационарных режимов движения и управляемость АТС могут быть получены на основе бифуркационного анализа предлагаемой уточненной модели автомобиля. Эта же модель может быть использована и при анализе неустановившихся режимов движения на основе численного интегрирования.

Оценку границ области применимости допущений, принятых в работе, предполагается получить на основе натурных испытаний АТС.

Список литературы

1. Певзнер Я.М. Теория устойчивости автомобиля. — М.: Машгиз,1947. — 156с.

2. Арнольд В.И. Теория катастроф. — 3-е изд., доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — с. 128.

3. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. — Киев: Наук. думка, 1990. — 232 с.

4. Сахно В.П., Мищенко Н.И., Вербицкий В.Г. Основные направления исследований устойчивости автомобиля и автопоезда // Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. ХНАДУ. Вып. 7-8. — Харьков, 2001. — 258с.

5. Макаров В.А., Хребет В.Г., Дугельний В.М. Про один підхід до оцінки впливу жорсткістної неоднорідності еластичної пневматичної шини на стійкість руху дорожнього транспортного засобу // Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. – 2000. №3. – С. 95 – 96

6. V.G. Verbitskii, V.A. Makarov, V.P. Sakhno, «Influence of the asymmetry of cornering forces on the static stability of two-axle vehicle,» International Applied Mechanics, 40, No.11, 1304-1309 (2004).

7. Fiala, E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen. VDI – Zeitschrift 96, 973, 1954.

Стаття надійшла до редакції 25.12.2007 р.

УДК 658.562:621(035)

ЛУКИЧЕВ А. В., к.т.н., доц., Донецкий институт автомобильного транспорта,
СОТНИКОВ А.Л., Донецкий национальный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА АТП

В статье сделана попытка выработки принципов и подходов к созданию единой системы диагностики технического состояния технологического оборудования АТП. Определена очередность решения практических задач и выработаны рекомендации по внедрению современного диагностического оборудования.

Постановка проблемы

Для повышения качества технического обслуживания и ремонта автомобилей в настоящее время повышается роль контроля и управления техническим состоянием технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта (АТП): подъемников, транспортеров, моечных машин, испытательных стендов, станочного парка и т.д. Это особенно актуально для АТП, входящих в состав крупных промышленных предприятий добывающего и металлургического комплекса, созданных и существующих достаточно длительное время. Именно они характеризуются максимальным рассеиванием по времени изготовления, конструкциям, техническому состоянию, методам обслуживания, как подвижного состава, так и технологического оборудования

Именно поэтому техническая диагностика технологического оборудования приобретает приоритетное значение. Кроме того, срок его эксплуатации существенно превышает срок эксплуатации подвижного состава. Функциональные изменения вследствие износа рабочих поверхностей и накопления усталостных деформаций приводят к уменьшению запаса прочности, что делает возможным появление отказов, обусловленных разрушением элементов. Поэтому одной из основных целей технической диагностики оборудования - контроль процессов изнашивания с целью предотвращения опасных повреждений и как следствие снижения времени простоя оборудования в ремонте, так как зачастую оборудование на АТП находится в единственном экземпляре, без дубляжа и резервирования.

Анализ последних достижений

Рынок современных средств диагностирования насыщен как аппаратным, так и программным обеспечением. Основной проблемой является оптимизация выбора совместимого и наиболее универсального набора этих средств, при минимальных экономических затратах [1, 2, 3].

Цель статьи

Разработать принципы построения, иерархическую структуру комплекса диагностического оборудования на АТП, нацеленного на обслуживание технологического оборудования.

Основной раздел

Внедрение современных систем диагностирования требует решения вопросов полноценного обеспечения. причем информационное и организационное обеспечение требует индивидуального подхода в рамках предприятия на этапе внедрения систем, а аппаратное и программное обеспечение непосредственно зависит от выбранной фирмы-изготовителя диагностического

оборудования.

Автоматизация технической диагностики в рамках конкретного АТП позволяет решить следующие задачи [1,2]: сбор диагностической информации; анализ результатов измерений; статистическая обработка для прогнозирования остаточного ресурса; обнаружение изменений состояния машины и ее узлов, выявление причин этих изменений; обнаружение повреждений на стадии зарождения и контроль их развития; планирование дальнейших измерений с учетом реального состояния узлов; выдача рекомендаций по обслуживанию и ремонту; выдача отчетов по выполненной работе и рекомендаций. Анализ существующих современных систем мониторинга и диагностики на базе вычислительной техники предлагаемых различными разработчиками стран СНГ, показал, что тенденция их развития - увеличение возможностей математического аппарата реализуемого в виде программного обеспечения (ПО) при совместной работе с аппаратным обеспечением сторонних производителей. Причем темпы изменения программного обеспечения значительно опережают изменение аппаратного обеспечения.



Рис. 1. Системы диагностирования на базе вычислительной техники:
***а)* система вибродиагностики «ДСА-2001», ООО «Инкотес», Россия; *б)* спектроанализатор «СА_02», ЗАО «Руднев-Шиляев», Россия; *в)* коллектор данных «ТОПАЗ», ООО «Диамех», Россия; *г)* система неразрушающего контроля и диагностики «Т–2001», ООО «Инкотес», Россия**

Кроме систем диагностирования на базе вычислительной техники (рис. 1) фирмы занимаются разработкой и производством портативных средств диагностирования, призванных увеличить количество клиентов при переходе предприятий к более совершенным системам мониторинга и диагностики, расширяющих область решаемых задач [2,3]. При этом портативные приборы используются в основном для сбора и предварительной обработки диагностической информации, а анализ выполняется на персональном компьютере. Недостаток — тот, что ПО организации

разработчика поддерживает обмен данными только с его портативными приборами, посредством стандартных портов ввода-вывода вычислительной техники. Сегодня преобладающее большинство компьютеров в мире, в том числе компьютеры, входящие в состав систем мониторинга и диагностики, работает под управлением операционной системы MS Windows со всеми возможностями мультимедийных приложений лидеров мирового рынка ПО (Microsoft, USA, и др.). Это универсальный интерфейс: поддержка распространенных форматов данных, взаимодействие с другим ПО путем экспорта и импорта данных; поддержка OLE-технологий; формирование и редактирование отчетных материалов; поддержка телекоммуникационных систем связи; использование различных систем управления базами данных и аппаратным обеспечением, а также возможность моделирования акустических шумов поврежденных узлов, путем генерации в звуковые форматы временных характеристик снятых в точках контроля.

Анализ современных систем мониторинга и диагностики показал, что разработка ПО ведется независимо от разработки аппаратного обеспечения. Предпочтение отдается портативным компьютерам (ноутбукам), дополненными платами расширения (аналогово-цифровыми преобразователями) (рис. 1 *а*, 1 *г*). Но существующие ноутбуки изначально ориентированы на бизнес приложения и не предусматривают возможность эксплуатации в достаточно тяжелых условиях АТП, имеющих большую запыленность, повышенную влажность и повышенную температуру на ряде участков. Этот недостаток устраним благодаря тому, что ПО разработано без привязки к аппаратному обеспечению, поэтому в условиях конкретного АТП вычислительная техника выбирается индивидуально, исходя из условия эксплуатации и степени защиты компьютера — это может быть или промышленный компьютер (рисунок 1 *б*, 1 *в*) или персональный компьютер.

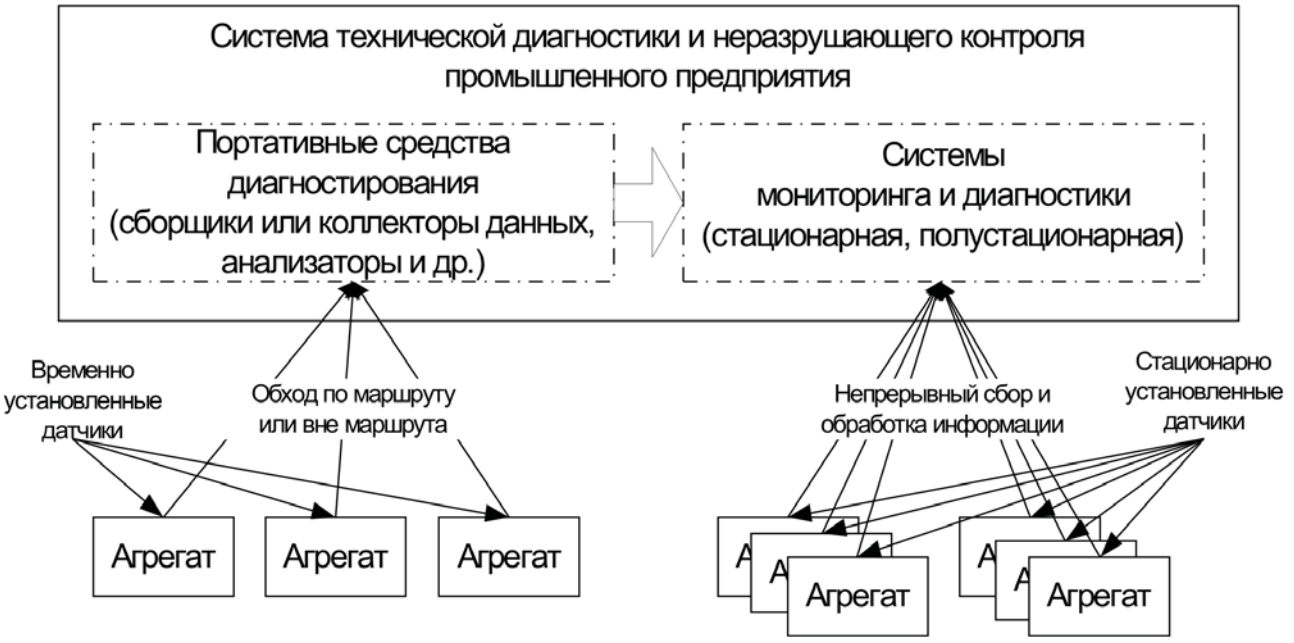


Рис. 2. Упрощенная структура системы технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного предприятия

Благодаря независимости от аппаратного обеспечения, одно и то же ПО можно использовать практически на всех системах мониторинга и диагностики. На крупных АТП могут находиться различные по структуре системы диагностирования: стационарные, стендовые, полустационарные или портативные. Кроме того, рационально включение системы диагностирования АТП в общую

схему диагностирования промышленного предприятия-комплекса. Работая под управлением одного и того же ПО, системы будут решать общие задачи. Поэтому вопрос об оптимальной структуре аппаратного обеспечения решается исходя из потребностей и возможностей АТП, условий эксплуатации и конструкции оборудования. Очень важно, что для совершенствования методов обработки диагностической информации, достаточно обновлять ПО новыми версиями, без замены аппаратного обеспечения. То есть, основной задачей становится обработка и анализ непрерывного потока диагностической информации от всех видов технологического оборудования.

Достаточно часто диагностируемым агрегатам присущи большие габариты, значительные площади и большая удаленность установки, поэтому одной из целей автоматизации диагностических работ является удаление диагностов от объектов контроля. Этого можно добиться, применив стационарные системы диагностирования (рис. 2): выделив диагностам отдельное помещение для размещения диагностического оборудования и обеспечив сбор диагностической информации посредством проводной или беспроводной связи от датчиков предварительно закрепленных в местах контроля. Технологическое оборудование АТП часто является достаточно сложным, а процесс эксплуатации может составлять десятки лет. Поэтому, стационарные системы окажут неоценимую помощь в сборе и обработке данных виброакустических характеристик оборудования на протяжении длительного срока эксплуатации. За счет применения портативных приборов можно расширить область применения, выполняя диагностирование машин и агрегатов, на которые затруднительно стационарно установить датчики, например из-за удаленного расположения или постоянного нахождения в движении. Стендовые системы могут быть полезными для ремонтных и монтажных бригад, выполняющих внеплановые ремонты и монтаж нового оборудования.

Портативные приборы в настоящее время остаются лучшим решением многих производственных проблем мониторинга (рис. 3), недостатком которых является необходимость приобретения как можно более универсальных приборов (из-за разнотипности технологического оборудования), цена которых пропорциональна их возможностям, а также необходимость большого количества приборов и персонала им владеющим [3].

Общим для всех современных систем диагностирования является наличие универсального ПО, выполняющего функции математического аппарата и осуществляющего выполнение задач технической диагностики. В настоящее время произошло изменение порядка выбора: «от аппарата к ПО» изменилось на «от ПО к аппаратному обеспечению». То есть, экономически и технически важно при внедрении на предприятии системы мониторинга и диагностики вначале выбрать ПО, а затем по ситуации на АТП определить средства диагностики.

При выборе ПО обязательно необходимо учитывать ряд факторов: 1) должна быть четко, с учетом перспективы, определена область решаемых задач; 2) указано какие из уже имеющихся на АТП средства диагностики ПО должно поддерживать; 3) наличие на предприятии специалистов диагностов и уровень их квалификации.

Имея достаточно большое количество ПО технической диагностики различных разработчиков стран СНГ, выбор все-таки серьезно ограничен, так как всему ПО присущи некоторые недостатки. При заключении договора о приобретении ПО требуется обучение специалистов диагностов, поскольку каждая фирма разработчик имеет свой подход к оформлению оболочки ПО (форме ввода данных и представления результатов). Т.е. требуется дополнительное обучение пользователей функциональным возможностям интерфейса ПО и методам анализа диагностической информации математическим аппаратом.



Рис. 3. Портативные системы диагностирования:
***а)* балансировочный прибор «К-4102.П», НПФ «Ресурс», Россия; *б)* сборщик данных с функциями мониторинга и диагностики «Агат», ООО «Фирма Диамех», Россия; *в)* анализатор вибрации «ВСА-3200», ИТЦ «Вибродиагностика», Украина; *г)* сборщик данных «DC-11», DPL Group, Канада; *д)* сборщик данных «2526», Bruel and Kjaer, Дания; *е)* сборщик данных «DI-1100», Diagnostic Instruments, Inc, Великобритания; *ж*) сборщик**

Исторически сложилось так, что разработка систем мониторинга и диагностики (от стационарных до портативных) фирмами стран СНГ ведется независимо друг от друга, что приводит к созданию индивидуального интерфейса аппаратного и программного обеспечения, затрудняющего быстрое их освоение и обмен данными между ними. В результате этого, на АТП при выборе какого-либо поставщика систем диагностирования, он автоматически становится неофициальным обладателем стандартов на данные «циркулирующие» в системе технической диагностики предприятия. В случае необходимости замены поставщика систем, предприятие сталкивается с необходимостью полной замены портативных средств диагностирования, а для стационарных, полустационарных и стендовых систем замены ПО. Отсюда следует необходимость разработки стандартов на сбор, обработку и обмен диагностической информации.

С точки зрения авторов, стандартный интерфейс должен обеспечить вывод (на монитор и принтер, в компьютерную сеть, аналогичное и смежное ПО) и ввод (из компьютерной сети, аналогичного и смежного ПО) данных, а также управление периферийными устройствами (портативными приборами и т.п.) через платы расширения. Это необходимо для полной интеграции систем диагностирования в полноценную совместимость с ведущими системами сбора и обработки информации (ПО) и нормативной документацией контроля состояния оборудования, применяемой в промышленности Украины.

Тенденция развития современного ПО различного назначения (бизнес приложения, системы автоматизированного проектирования и экспертные системы диагностирования) — переход к «отрытой» архитектуре ПО, позволяющей пользователям самостоятельно расширять возможности ПО для решения своих задач [4]. Переход фирмами-разработчиками осуществляется либо путем распространения ПО с исходными текстами, либо путем включения в ПО внутренних языков программирования (Microsoft Office — Visual Basic for Applications (VBA), AutoDesk Auto-CAD - AutoLisp и т.п.) и функций интерфейса программирования приложений (API).

Наличие универсального интерфейса и «открытой» архитектуры (редактора методик диагностирования) в ПО систем мониторинга и диагностики пользователям-диагностам дает возможность, используя накопленный опыт, автоматизировать работу путем самостоятельной разработки методик диагностирования. Редактор решает вопросы организации процессов взаимодействия баз данных, интерфейса и методик диагностирования.

Выводы

На основании вышеизложенного:

– необходима разработка единых стандартов (или хотя бы стандартов предприятия, АТП) на сбор и предоставление результатов обработки диагностической информации, включая также универсальные форматы для обеспечения обмена данными и взаимозаменяемости между различными системами диагностирования (т.е., ПО), в том числе диагностирование подвижного состава;

– необходима разработка единых требований к обучению пользователей систем диагностирования для обеспечения высокого уровня квалификации; обучение методам математической обработки какой-либо системы мониторинга и диагностики должна осуществляться с помощью ПО, имеющего в своем составе как экспертную систему, так и обучающие системы, построенные на основе единых подходов к обучению работе на всем диагностическом оборудовании;

– экспертные системы должны иметь «открытую» архитектуру и универсальные средства разработки методик диагностирования, поддерживающие стандарты формализованного представления информации.

Список литературы

1. http://www.promservis.ru/paper_005.html — Мынцов А.А., Мынцова О.В., Кочнев М.Н. Системы виброакустического диагностирования агрегатов роторного типа.

2. http://vibrotek.com/russian/articles/nov_pok/new_pok.htm — Барков А.В. Новое поколение систем мониторинга и диагностики машин.

3. http://www.promservis.ru/paper_002.html — Мынцов А.А., Мынцова О.В., Шкумат А.Г. Опыт эксплуатации переносных систем диагностирования агрегатов роторного типа.

4. Лукичев Александр, Сотников Алексей. Системы компьютеризации инженерной деятельности в металлургии и машиностроении // Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare: Lucrările publicate au fost comunicate la Conferința Ştiințică Internațională TMCR 2001, Chişinău. – Univesitatea Technică a Moldovei, 2001. Vol. 4, стр. 252–255.

Стаття надійшла до редакції 02.11.2007 р.

УДК 629.113

МОЙСЯ Д.Л., Донецкий институт автомобильного транспорта.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ ТРЕХЗВЕННОГО АВТОПОЕЗДА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЗВЕНОМ, ИМЕЮЩИМ ОПОРНУЮ ОСЬ

Рассмотрена задача маневренности трехзвенного автопоезда, состоящего из двухосного тягача, полуприцепа и опорной тележки. Определены стационарные круговые режимы системы при различных скоростях. Стационарные режимы определялись различными методами(метод численного интегрирования итерационный метод; метод продолжения по параметру).

Введение

Математическая модель канонического автопоезда являлась объектом исследований отечественных и зарубежных авторов, однако результаты анализа касались линеаризованных моделей [2–6]. Вопросы устойчивости круговых стационарных режимов движения изучены менее полно – обычно рассматривались случаи движения по траекториям достаточно большого радиуса [3, 6]. В данной работе развивается программно-вычислительная база, позволяющая исследовать все многообразие стационарных состояний модели автопоезда при изменении управляемых параметров системы: продольной скорости движения (дискретный параметр); угла поворота колес переднего ряда (непрерывный параметр).

Одной из особенностей данной работы является попытка исследовать нелинейную математическую модель трехзвенного автопоезда – вскрыть картину возможных перестроек конфигурации автопоезда при различных начальных возмущениях фазовых переменных, что требует нестандартных методов анализа.

Цель работы: исследование маневренности и устойчивости круговых стационарных режимов модели трехзвенного автопоезда. Определение множества стационарных режимов движений автопоезда методом продолжения по параметру. Конфигурация автопоезда при различных режимах движения.

Постановка задачи.

Для наиболее полного описания и исследования возможных стационарных состояний

трехзвенного автопоезда с безопорным промежуточным звеном с жестким рулевым управлением необходимо выбрать подходящую математическую модель и соответствующие переменные состояния (рис. 1).

Передняя ось тягача может поворачиваться на угол θ. Связь между звеньями осуществляется цилиндрическими шарнирами, которые допускают свободное относительное поворачивание звеньев в плоскости их движения.

Положение каждого звена задается координатами x_i, y_i его центра масс C_i и курсовым углом ψ_i (который заключен между продольной осью соответствующего звена и осью абсцисс x неподвижной системы координат).

Параметры системы: v — продольная составляющая скорости центра масс тягача; a, b — расстояние от центра масс тягача до точек крепления передней и задней осей тягача; c — расстояние от центра масс тягача до точки сцепки с задним звеном; d_1, d_2 — расстояние от центра масс полуприцепа и тележки до точки сцепки соответственно; $2K$ — габаритная ширина автопоезда; коэффициент трения k_f; коэффициенты увода на осях (k_1, k_2, k_3); коэффициенты

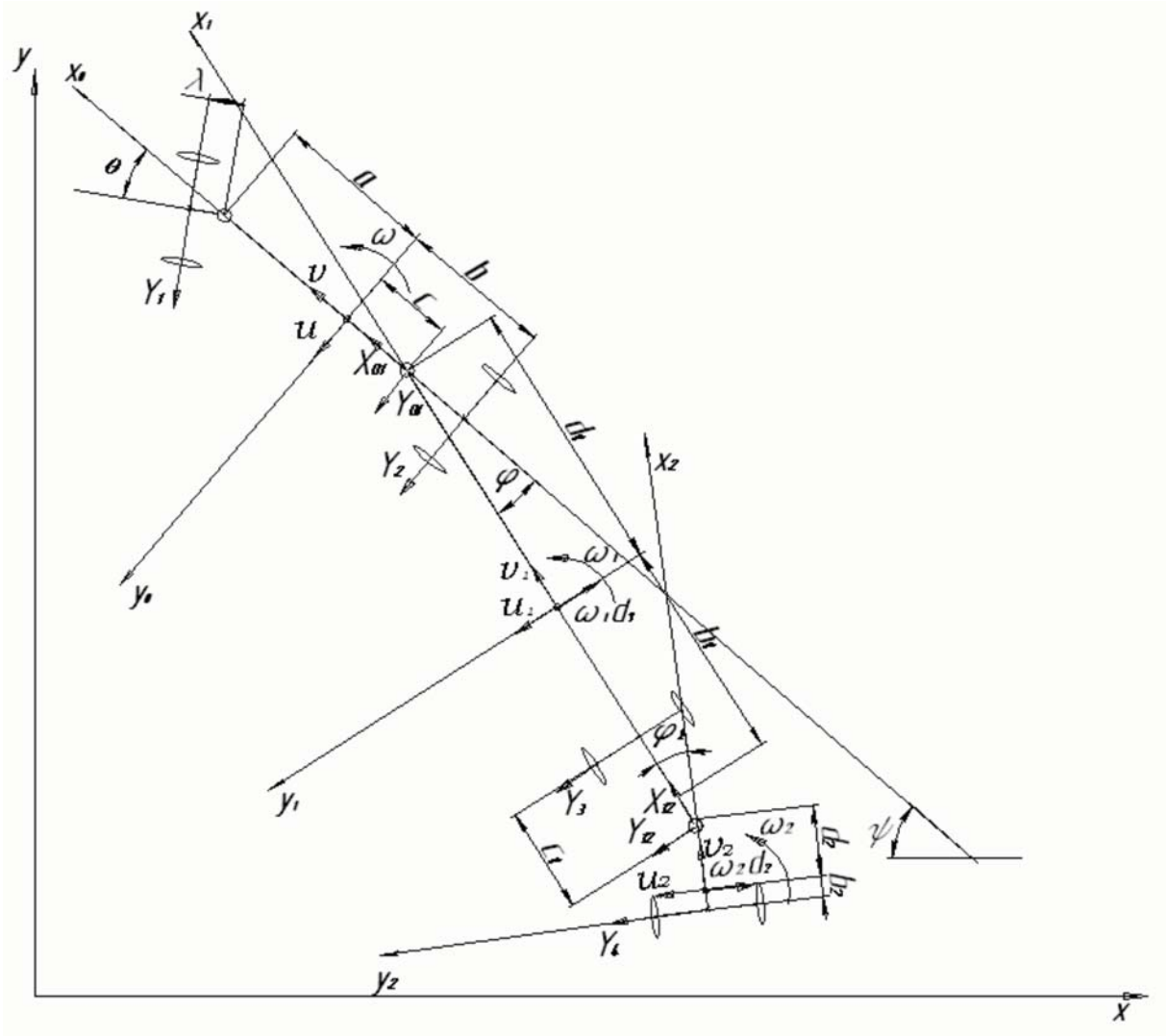


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема автопоезда

сцепления при определении боковых сил увода (χ_1, χ_2, χ_3); устанавливаемый угол поворота колес управляемого модуля θ, приведенная боковая реакция полотна дороги на опорных осях тягача и полуприцепа (Y_1, Y_2, Y_3).

Обозначим через C, C_1, C_2 — центры масс, m, m_1, m_2 — массы, I, I_1, I_2 — центральные моменты инерции относительно соответствующих вертикальных осей, φ, φ_1 — углы складывания (заключены между продольными осями тягача и полуприцепа, полуприцепа и тележки соответственно).

$\omega = \dot{\psi}$, $\omega_1 = \dot{\psi}_1$, $\omega_2 = \dot{\psi}_2$ — абсолютные угловые скорости ведущего и ведомого звеньев, тогда

$$\omega_1 = \omega - \dot{\varphi}, \quad \omega_2 = \omega_1 - \dot{\varphi}_1.$$

Зададим абсолютные скорости точек C, C_1 разложениями по ортам соответствующих базисов:

$$
\begin{aligned}
&v_c = i_0 v + j_0 u, \quad v_{c1} = i_1 v_1 + j_1 u_1,\\
&v = \dot{x}\cdot\cos\psi + \dot{y}\cdot\sin\psi, \quad u = -\dot{x}\cdot\sin\psi + y\cdot\cos\psi,\\
&v_1 = v\cdot\cos\varphi - (u - \omega\cdot c)\cdot\sin\varphi, \quad u_1 = v\cdot\sin\varphi + (u - \omega\cdot c)\cdot\cos\varphi - \omega_1\cdot d_1.\\
&v_2 = v_1\cdot\cos\varphi_1 - (u_1 - \omega_1\cdot b_1)\cdot\sin\varphi_1, \quad u_2 = v_1\cdot\sin\varphi_1 + (u_1 - \omega_1\cdot b_1)\cdot\cos\varphi_1 - \omega_2\cdot d_2.
\end{aligned}
\quad , \qquad (1)
$$

Система дифференциальных уравнений движения автопоезда описывает изменение фазовых переменных (u, ω, φ, φ_1, Φ, Φ_1): u — поперечная составляющая скорости центра масс тягача (квазискорость), U — ее производная в подвижной системе координат; Ω — угловое ускорение относительно вертикальной оси; Φ, Φ — скорости складывания углов φ, φ_1 соответственно; PP, PP_1 – угловые ускорения полуприцепа и тележки относительно собственной вертикальной оси.

Среди различных теорий качения упругодеформируемых колес наибольшее распространение получила аксиоматика, согласно которой боковая реакция Y_i полотна дороги, приложенная в центре пятна контакта катящегося упругого колеса, является функцией лишь так называемого угла увода δ_i.

Приведенные углы бокового увода колесных осей определяются выражениями

$$
\begin{aligned}
\delta_1 &= \theta - arctg\frac{(u + a\omega)}{v};\\
\delta_2 &= arctg\frac{-u + b\omega}{v};\\
\delta_3 &= arctg\frac{-u_1 + b_1\omega_1}{v_1}.
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Зависимости сил бокового увода, имеющие эмпирическое происхождение [1], можно аппроксимировать выражениями (монотонно возрастающая функция, имеющая характер кривой насыщения)

$$
Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{(1 + (k_i\delta_i / \chi_i Z_i)^2}\,, \qquad (3)
$$

где Z_i — реакции опорной поверхности на осях.

Пренебрегая перераспределением нормальных реакций между боковыми колесами, будем считать боковые колеса каждой оси замененными одним приведенным колесом с центром в середине оси. Тогда

$$
\begin{aligned}
Z_1 &= \frac{1}{l}[mgb - (m_2 + m_1)g\frac{b_1}{L_1}(c - b)];\\
Z_2 &= \frac{1}{l}[mga + (m_2 + m_1)g\frac{b_1}{L_1}(c + a)];\\
Z_3 &= (m_2 + m_1)g\frac{d_1}{L_1};\quad l = a + b;\ L_1 = d_1 + b_1 + d_2 + b_2\,.
\end{aligned}
\qquad (4)
$$

Примечание. Так как расстояние между опорной осью полуприцепа и опорной осью тележки сравнительно мало, то считаем, что Z_3 распределяется между ними равномерно.

Основной раздел

Вывод дифференциальных уравнений плоскопараллельного движения трехзвенного автопоезда методом сечений [3].

Применяя метод сечений, получим следующие уравнения плоскопараллельного движения, в проекциях на оси неизменно связанные со звеньями, для тягача, полуприцепа и опорной тележки соответственно:

1. Уравнения движения тягача

$$\begin{aligned} &m(V - u\omega) - X_{01} + Y_1 \sin(\theta) = 0, \\ &m(U + v\omega) - Y_{01} - Y_1 \cos(\theta) - Y_2 = 0, \\ &J\Omega + Y_{01}c - Y_1 a \cos(\theta) + Y_2 b = 0. \end{aligned} \tag{5}$$

2. Уравнения движения полуприцепа

$$\begin{aligned} &m_1(V_1 - u_1\omega_1) + X_{01} \cos(\varphi) - Y_{01} \sin(\varphi) - X_{12} = 0, \\ &m_1(U_1 + v_1\omega_1) + X_{01} \sin(\varphi) + Y_{01} \cos(\varphi) - Y_{12} - Y_3 = 0, \\ &J_1\Omega_1 + X_{01} d_1 \sin(\varphi) + Y_{01} d_1 \cos(\varphi) + Y_{12} b_1 + Y_3(b_1 - c_1) = 0. \end{aligned} \tag{6}$$

3. Уравнения движения тележки

$$\begin{aligned} &m_2(V_2 - u_2\omega_2) + X_{12} \cos(\varphi_1) - Y_{12} \sin(\varphi) = 0, \\ &m_1(U_1 + v_1\omega_1) + X_{12} \sin(\varphi_1) + Y_{12} \cos(\varphi_1) - Y_4 = 0, \\ &J_1\Omega_1 + X_{12} d_2 \sin(\varphi_1) + Y_{12} d_2 \cos(\varphi_1) + Y_4 b_2 = 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Исключая из (5), (6) и (7) внутренние силы Y_{01}, X_{01}, Y_{12}, X_{12} взаимодействия подсистем, получим систему нелинейных дифференциальных уравнений (8), в общем виде:

По переменной

$$\begin{aligned} -v \quad & f(v,u,\omega,\varphi,\varphi_1,V,U,\Omega,\Phi,\Phi_1,PP,PP_1,\theta) = 0; \\ -u \quad & f(v,u,\omega,\varphi,\varphi_1,V,U,\Omega,\Phi,\Phi_1,PP,PP_1,\theta) = 0; \\ -\omega \quad & f(v,u,\omega,\varphi,\varphi_1,V,U,\Omega,\Phi,\Phi_1,PP,PP_1,\theta) = 0; \\ -\varphi \quad & f(v,u,\omega,\varphi,\varphi_1,V,U,\Omega,\Phi,\Phi_1,PP,PP_1,\theta) = 0; \\ -\varphi_1 \quad & f(v,u,\omega,\varphi,\varphi_1,V,U,\Omega,\Phi,\Phi_1,PP,PP_1,\theta) = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

При установившемся режиме движения значения всех фазовых переменных становятся постоянными. Таким образом, все множество стационарных режимов определяется системой (8), в которой нужно положить $v=const,\ V=U=\Omega=\Phi=\Phi_1=PP=PP_1=0$:

По переменной

$$\begin{aligned} &-u && f(u,\omega,\varphi,\varphi_1,\theta)=0;\\ &-\omega && f(u,\omega,\varphi,\varphi_1,\theta)=0;\\ &-\varphi && f(u,\omega,\varphi,\varphi_1,\theta)=0;\\ &-\varphi_1 && f(u,\omega,\varphi,\varphi_1,\theta)=0. \end{aligned} \qquad (9)$$

Уравнения (9) являются условиями равновесия рассматриваемой трехзвенной шарнирно соединенной системы: первое — на поперечную ось тягача; второе — условие равенства нулю главного момента сил (полюс приведения — центр масс тягача); третье — условие равенства нулю главного момента сил, действующих на полуприцеп (полюс приведения центр масс полуприцепа); четвертое — условие равенства нулю главного момента сил, действующих на опорную тележку (полюс приведения центр масс тележки).

В данной работе предлагается исследовать систему на наличие круговых стационарных режимов и оценить конфигурацию автопоезда при этом.

Положив в системе (8) $v=const$, а значит $V=0$ и разрешив ее относительно старших производных (U, Ω, PP, PP_1) можно методом численного интегрирования вывести уравнения фазовых переменных. Система уравнений (9) может быть использована для определения стационарных режимов итерационным методом, а также методом продолжения по параметру.

В работе [6] приведен метод продолжения по параметру, который может быть применен для определения всего множества стационарных режимов.

Предположим, что имеется ветвь стационарных состояний, выходящая из некоторой (стартовой) точки пятимерного пространства (u, ω, φ, φ_1, θ), тогда все фазовые переменные, отвечающие стационарным режимам (вместе с дополнительной переменной θ), являются координатами точек этой кривой. В этом случае можно построить вспомогательную систему дифференциальных уравнений (по числу фазовых переменных и дополнительной переменной θ) — она задает скорости фазовых переменных от натурального параметра длины дуги кривой стационарных режимов (модуль скорости при движении по этой кривой тождественно равен единице $\sqrt{(du/ds)^2+(d\omega/ds)^2+(d\varphi/ds)^2+(d\varphi_1/ds)^2+(d\theta/ds)^2}=1.$).

Приведем пример построения кривой действительных решений кубического уравнения при изменении одного параметра (q), используя метод продолжения по параметру. Пусть задано уравнение:

$$x^3-x+q=0.$$

Множество действительных решений этого уравнения можно представить в виде неявной функции $G(x, q)=0$. В плоскости (x, q) она представляет некоторую кривую, проходящую через начало координат (очевидное решение уравнения $\{x=0, q=0\}$). Параметризуем кривую натуральным параметром — длиной дуги s $(ds=\sqrt{dx^2+dq^2})$. При движении вдоль этой кривой $dG(x, q)=0$, тогда для скоростей изменения переменных x, q получим соотношения:

$$\frac{dG}{ds}=\frac{\partial G}{\partial x}\frac{dx}{ds}+\frac{\partial G}{\partial q}\frac{dq}{ds}=0.$$

В качестве решений, удовлетворяющих предыдущему уравнению, возьмем

$$\frac{dx}{ds} = \lambda \frac{\partial G}{\partial q}; \quad \frac{dq}{ds} = -\lambda \frac{\partial G}{\partial x}.$$

Эти скорости связаны соотношением $\left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dq}{ds}\right)^2 = 1$, тогда для параметра λ можно получить выражение $\lambda = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial q}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2}}$. Таким образом получим вспомогательную систему дифференциальных уравнений, реализующую метод продолжения по параметру q.

$$\frac{dx}{ds} = \frac{\frac{\partial G}{\partial q}}{\sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial q}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2}}; \qquad \frac{dq}{ds} = -\frac{\frac{\partial G}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial q}\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2}}.$$

Стартовая точка определяет начальные условия при интегрировании. При численном интегрировании получим всю кривую действительных корней уравнения

$$x^3 - x + q = 0.$$

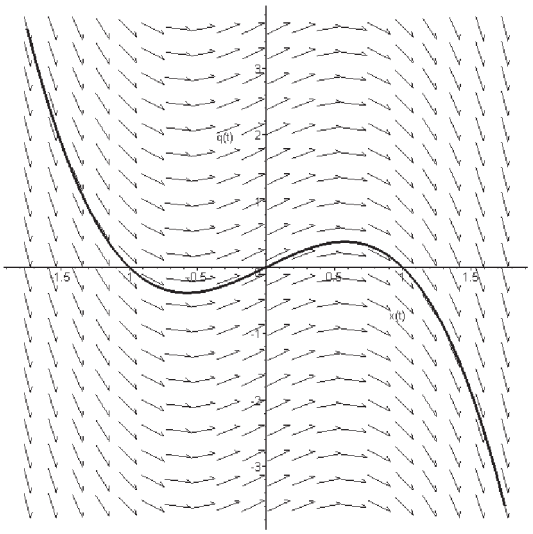


Рис. 2. Кубическая парабола (построена с использованием метода продолжения по параметру)

Результаты численного анализа математической модели автопоезда

При выводе уравнений движения и численном интегрировании использовался пакет «Maple».

1. Нахождение круговых стационарных режимов движения.

Стационарным решениям (состояниям равновесия, особым точкам, точкам покоя) ω=*const*;

u=const ; *φ=const*; $\varphi_1 = const$ системы (реализуются при *v=const* и *θ=const*) отвечают круговые траектории всех точек трехзвенника в плоскости дороги.

Задание параметров системы (параметры автопоезда взяты в работе [7]):

$$m = 6250\ кг,\ m_1 = 6160\ кг m_2 = 800\ кг,\ a = 1.27\ м,\ b = 2.33 м,\ c = 1.6\ м,\ b_1 = 3.29\ м,\ d_1 = 4\ м,\ c_1 = 0.5\ м,$$
$$b_2 = 0.2\ м,\ d_2 = 0.5\ м, k_1 = 300000\ H,\ k_2 = 800000\ H,\ k_3 = 1000000\ H,\ J = 10000\ кг\ м^2,\ J_1 = 2500 кг\ м^2,$$

Ниже представлены результаты численного интегрирования модели при значениях управляющих параметров v и θ.

Так, значениям *v*=5 *м/с* и *θ*=0.38 *рад* соответствует круговой стационарный режим:

$$\{u^*=1{,}106\ м/с,\ \omega^*=0{,}511\ рад/с,\ \varphi^*=0{,}685\ рад,\ \varphi_1^*=0{,}169\ рад\}$$

(определен итерационным методом)

Траектория движения центра тяжести тягача в плоскости дороги и конфигурация автопоезда представлены на рис. 3.

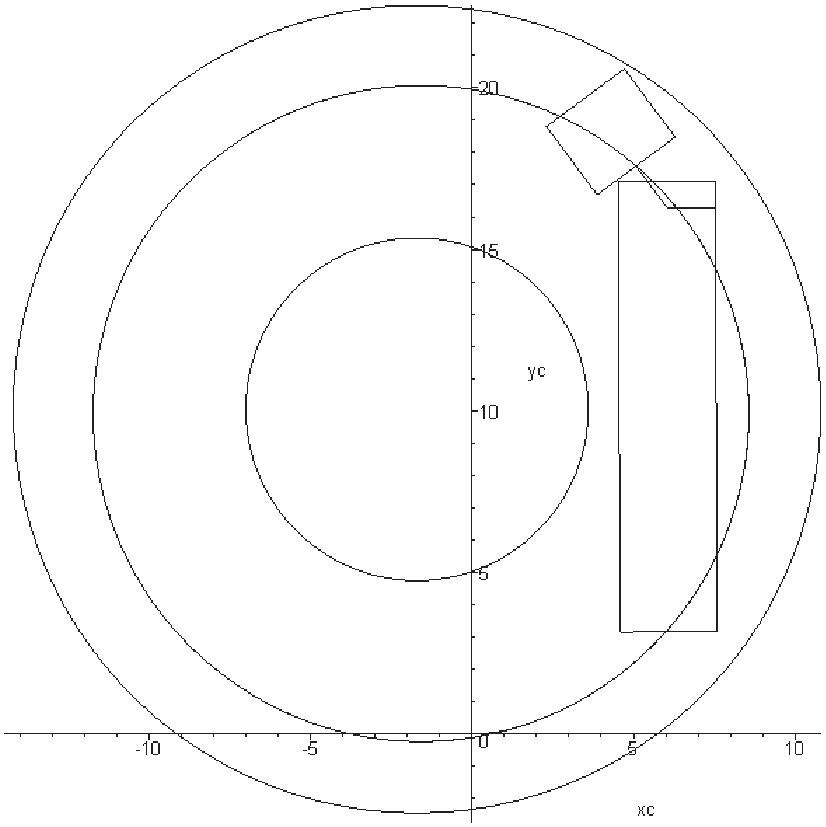


Рис. 3. Траектория центра тяжести тягача в плоскости дороги при движении автопоезда по круговому коридору, габариты которого соответствуют стандартам ЕС,
(*v*=5 *м/с* и *θ*=0.38)

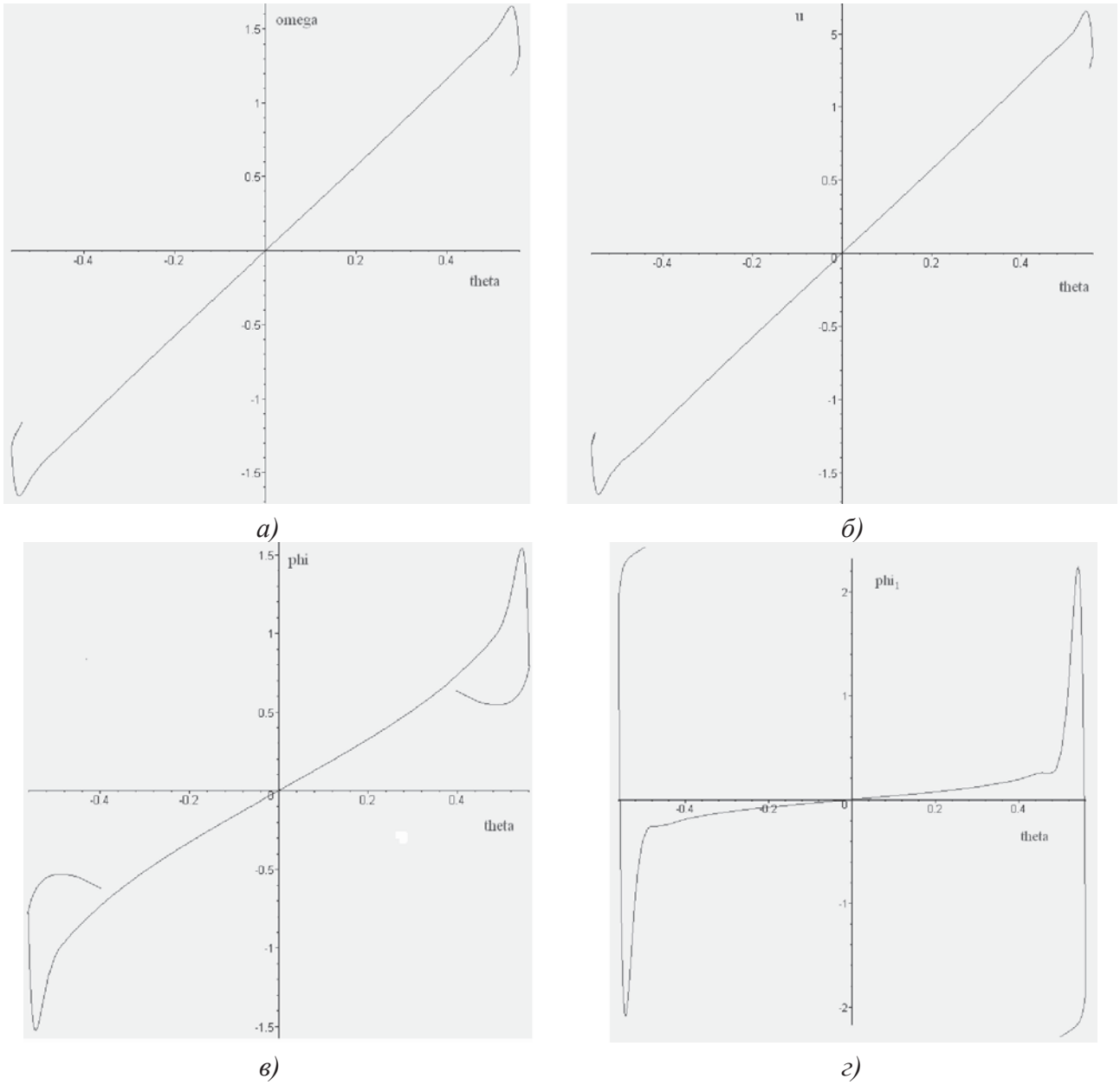
На рисунке 3 видно, что при заданных управляющих параметрах автопоезд вписывается в габариты коридора. Набору вышеуказанных параметров соответствует следующий спектр собственных значений:

eigv := -2.108976300 + 32.28045051 *I*, -0.5402044720, -12.82448830, -37.47323536, -85.02991422, -2.108976300 − 32.28045051 *I*

Так как корни характеристического уравнения системы в вариациях имеют отрицательные действительные части, то, согласно теореме Ляпунова, режим движения устойчивый.

2. Определение множества круговых стационарных режимов движения.

Определение такого множества стационарных режимов можно вести при различных значениях управляющих параметров. Как указывалось ранее, продольная скорость центра тяжести тягача (v) — параметр дискретный, а угол поворота управляемых колес (θ) — параметр беспрерывный. Задав v=5 *м/с* и варьируя θ (плавно удаляясь от нуля, как в область положительных, так и в область отрицательных значений) можно построить графики зависимостей фазовых переменных от угла поворота управляемых колес (на базе итерационного метода).



а) *б)*

в) *г)*

Рис. 4. Графики зависимостей фазовых переменных от угла поворота управляемых колес: *а)* $\omega(\theta)$, *б)* $u(\theta)$, *в)* $\varphi(\theta)$, *г)* $\varphi_1(\theta)$

Проанализируем построенные зависимости.

При $\theta=0$,$\omega=u=\varphi=\varphi_1=0$, что соответствует прямолинейному движению.

На графиках видно, что при $\theta=\pm const$ система обладает симметрией: правый поворот в одном случае и левый — в другом случае эквивалентны. Определим режимы при различных значениях θ.

Значениям $\theta=\pm 3$ *рад* соответствуют круговые стационарные режимы

$$\{ u^* = \pm 0.868\,\text{м/с}, \omega^* = \pm 0,395\,рад/с, \varphi^* = \pm 0.512\ рад, \varphi_1^* = \pm 0.117\ рад \}$$

(положительным значениям соответствуют положительные значения фазовых переменных и наоборот). Спектр собственных значений при этом:

$$eigv := -2.126511867 + 33.24950770\ I, -0.6269144335, -14.74912279, -45.78049779, -77.92875530, -2.126511867 - 33.24950770\ I$$

Корни характеристического уравнения системы в вариациях имеют отрицательные действительные части, режим движения устойчивый.

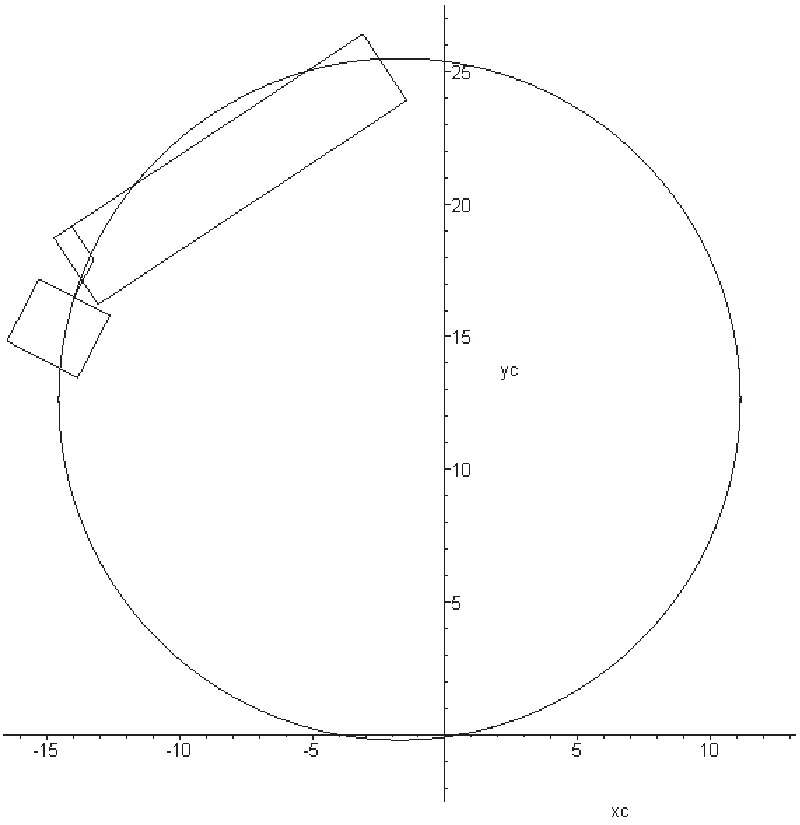


Рис. 5. Траектория движения центра тяжести тягача в плоскости дороги и конфигурация автопоезда θ=0.3 рад

Значениям соответствуют круговые стационарные режимы

$$\{ u^* = \pm 1.466\,\text{м/с}, \omega^* = \pm 0,670\,рад/с, \varphi^* = \pm 1.053\ рад, \varphi_1^* = \pm 0.353\ рад \}$$

(положительным значениям θ соответствуют положительные значения фазовых переменных и наоборот). Спектр собственных значений при этом:

$$eigv := -1.458004797 + 34.54157927\,I,\ -0.3075218942,\ -9.569107617,\ -27.43827979,$$
$$-166.1518215,\ -1.458004797 - 34.54157927\,I$$

Корни характеристического уравнения системы в вариациях имеют отрицательные действительные части, режим движения устойчивый.

Из геометрии кривых стационарных режимов (рис. 4) видно в некотором диапазоне изменения угла поворота (θ) в системе могут реализовываться два стационарных состояния. Так, при θ=0.5 *рад*, кроме режима

$$u^* = 1.466\ \text{м/с}, \omega^* = \mathbf{0},670\ рад/с, \varphi^* = 1.053\ рад, \varphi_1^* = 0.353\ рад\ ,$$

который являлся устойчивым (результат получен на основе анализа собственных значений), теоретически может быть реализован второй режим

$$u^* = 0.984\ \text{м/с}, \omega^* = \mathbf{0},794\ рад/с, \varphi^* = 0.858\ рад, \varphi_1^* = -2.04\ рад\ ,$$

который является неустойчивым и практически нереализуемый. Точка, разделяющая устойчивую и неустойчивую ветви, соответствует кратному стационарному режиму и носит название «точка поворота кривой стационарных режимов».

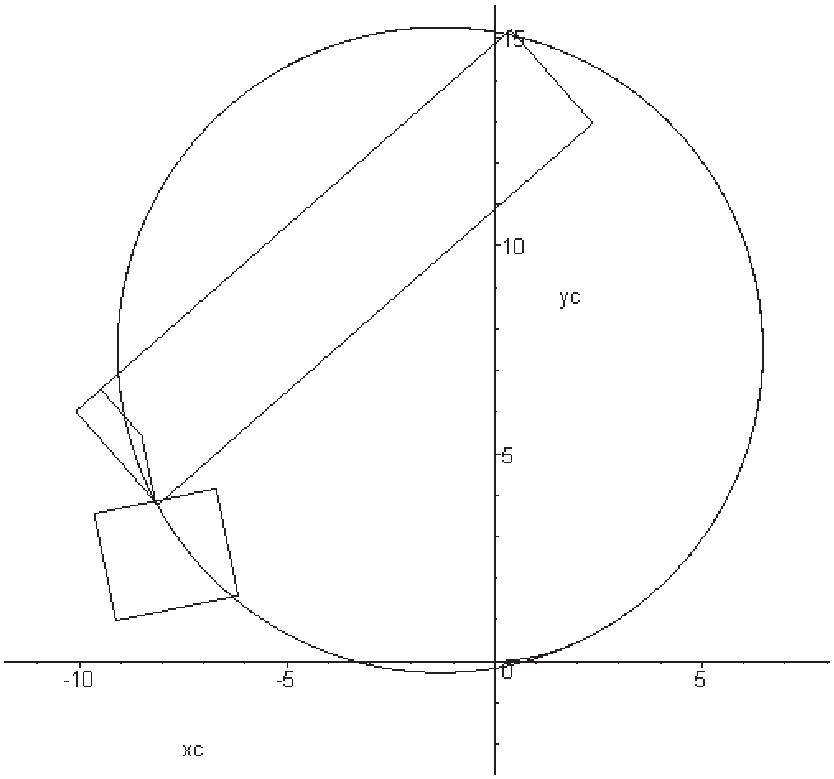


Рис. 6. Траектория движения центра тяжести тягача в плоскости дороги и конфигурация автопоезда θ=0.5 *рад*

Выводы

Определено множество стационарных режимов (кривая стационарных режимов). Определены геометрические критерии потери устойчивости на кривой стационарных режимов — моменту потери дивергентной устойчивости соответствует точка поворота (реализация двукратного режима). При рассмотренном наборе параметров системы точка поворота реализуется при значении $\theta^{**} = 0{,}56$ *рад*. В левой окрестности точки поворота теоретически реализуются два стационарных режима, один из которых неустойчивый. При движении по кривой стационарных режимов (начальная точка — устойчивый прямолинейный режим) проходятся устойчивые стационарные режимы до точки поворота. В данном случае этот геометрический критерий является необходимым и достаточным условием устойчивости при движении по кривой стационарных режимов.

Список литературы

1. Рокар И. Неустойчивость в механике. — М.: Изд-во иностр. лит., 1959. — 288с.

2. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. — Киев: Наук. думка, 1990. — 232 с.

3. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1975. — 216с.

4. Вербицкий В.Г., Лобас Л.Г. Бифуркации и устойчивость стационарных состояний связки катящихся упруго-деформированных тел // Прикл. механика. — 1987. — 23, № 8. — с. 101–106.

5. Вербицкий В.Г., Лобас Л.Г. Вещественные бифуркации двухзвенных систем с качением// Прикл. математика и механика. — 1996. — 60, №3. — С. 418–425.

6. Shinohara Y. A geometric method for the numerical solution of non-linear equations and its application to non-linear oscillations // Publ. Res. Inst. Math. Sci., Kyoto Univ. 1972. V. 8, № 1. P. 13–42.

7. Nonlinear Dynamics of a Wheeled Vehicle - R. Andrejeloski, J. Awrejcewicz (Springer, 2005) WW — 326p.

Стаття надійшла до редакції 19.12.2007 р.

УДК 004.934.1'1

ФЕДОРОВ Е.Е., к.т.н.,
Донецкий институт автомобильного транспорта

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРБАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Для вербального управления автомобилем в статье предлагается структура интеллектуальной системы, разрабатываются методика формирования эталонов речевых команд и методика распознавания речевых команд, проводится количественный анализ речевых команд с использованием коэффициентов КЛП; коэффициентов отражения КЛП; автокорреляции КЛП; кепстра КЛП; площади поперечных сечений акустической трубы КЛП; нормированной автокорреляции; нормированного энергетического спектра КЛП и ДПФ; меры контрастности ДПФ, ДВП, НВП; нормированного количества импульсов равной длины; MFCC.

Постановка проблемы

В современной отечественной и мировой практике активно ведутся разработки

интеллектуальных систем управления движением транспорта. При создании интеллектуальной системы необходимо решить задачу вербального управления.

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [1–2] приводятся структуры и функциональные особенности интеллектуальных систем управления. В работах [3–8] описываются методы цифровой обработки (дискретное преобразование Фурье, цифровая фильтрация, кепстральный анализ, кодирование с линейным предсказанием, непрерывное и дискретное вейвлет-преобразование) и распознавание речевого сигнала (динамическое программирование).

В работах [1–2] не используется вербальное управление динамическими объектами. В работах [3–8] не проводится количественный анализ предложенных систем признаков речевого сигнала и их совместное использование.

Цель статьи

Разработать структуру и функциональные особенности вербальной системы управления автомобилем.

Основной материал

В статье приведена структура вербальной системы управления автомобилем; предлагается методика формирования эталонов речевых команд; разрабатывается методика распознавания речевых команд; проводится количественный анализ речевых команд.

Структурная схема вербальной системы управления автомобилем представлена на рис.1.

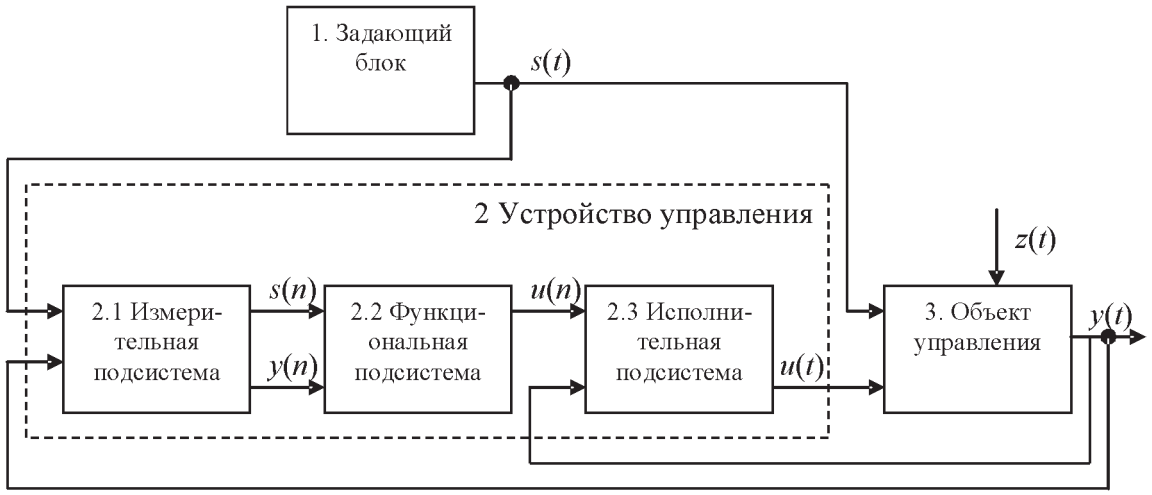


Рис. 1. Структурная схема вербальной системы управления

Задание (входная величина) в виде аналогового сигнала *s(t)* поступает на объект управления и в измерительную подсистему. Кроме того, по обратной связи в эту подсистему поступает выходная (управляемая) величина в виде аналогового сигнала *y(t)*. После аналого-цифрового преобразования сигналы *s(n)* и *y(n)* поступают в функциональную подсистему. Управляющее воздействие *u(n)*, сформированное на основе прогноза по модели, передается в исполнительную подсистему. После цифро-аналогового преобразования сигнал *u(t)* поступает на объект управления (автомобиль). На объект управления может также воздействовать помеха в виде

аналогового сигнала *z(t)*. Далее предлагается структура подсистем устройства управления.

1. Измерительная подсистема

Измерительная подсистема включает в себя два блока – датчика (микрофон) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

В *блоке датчика* фиксируются акустические колебания, поступающие от оператора.

В *блоке АЦП* аналоговый сигнал *s(t)*, поступающий от датчиков (микрофона), подвергается квантованию по времени и уровню, и подается в виде оцифрованного сигнала *s(n)* в функциональную подсистему.

2. Функциональная подсистема

Функциональная подсистема (рис.2) включает в себя блоки математической модели, идентификации параметров, функционала цели и распознавания.

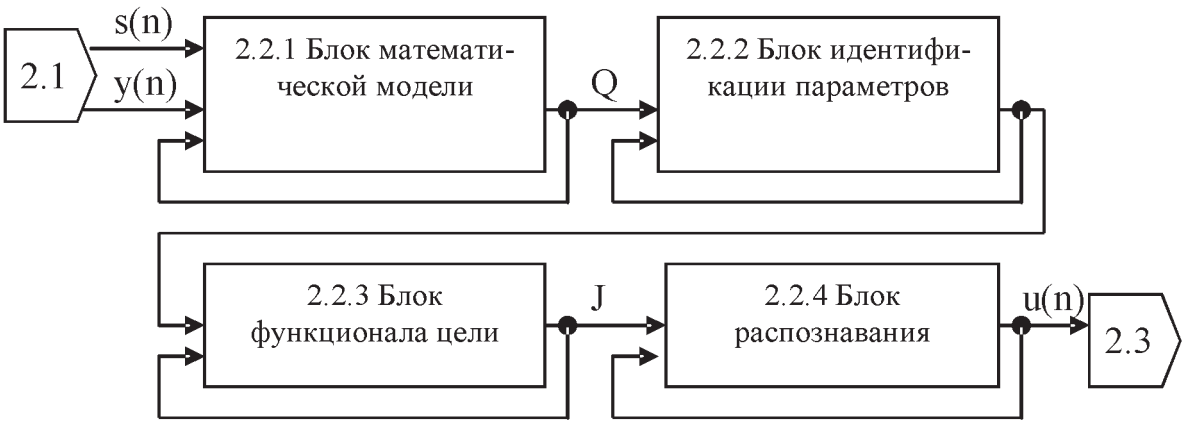


Рис. 2. Структурная схема функциональной подсистемы

В блоке математической модели (блок 2.2.1) реализуется методика формирования эталонов речевых команд, заключающаяся в следующем.

В настоящее время существуют несколько подходов для конструирования систем признаков, используемых при распознавании речи. В статье рассматриваются основные из них.

Банк фильтров можно рассматривать как упрощенную модель человеческой слуховой системы. При этом применяемые фильтры должны строго разделить частотную область сигнала на непересекающиеся участки, соответствующие основным спектральным полосам разных классов звуков речи. После применения банка полосовых фильтров к речевому сигналу получится набор спектральных составляющих исходного сигнала, на основе которых проводится анализ речи.

Вследствие изменения свойств речевого сигнала во времени его анализ проводится на фреймах длины *N*:

$$\hat{s}(m) = s(m)w(m), \quad w(m) = 0.54 + 0.46\cos\frac{2\pi m}{N},$$

где *w(m)* — оконная функция Хэмминга

В настоящее время вместо банка цифровых фильтров используют дискретное преобразование

Фурье (ДПФ) [3-4], позволяющее ускорить процесс преобразования сигнала с целью формирования эталона. Спектр дискретного речевого сигнала *s(n)* длиной *ΔN* представлено в виде:

$$S(k)=\sum_{n=0}^{N-1}\hat{s}(n)\;\; e^{-j\frac{2\pi nk}{N}},\quad 0\le k\le N/2-1\;.$$

Однако, преобразование Фурье, традиционно применяемое для обработки речевых сигналов, имеет следующие недостатки:

1) Сложность анализа нестационарных сигналов.

2) Невозможность точного восстановления сигнала из-за эффекта Гиббса. Использование оконных функций, которые борются с этим эффектом, ухудшает восстановление сигнала на участках его быстрых изменений.

3) Отсутствие хорошей частотно-временной локализации.

Ввиду этих недостатков, в последнее время вместо преобразования Фурье получили распространение методы обработки сигнала, базирующиеся на вейвлет-преобразовании.

Дискретное вейвлет-разложение сигнала *s(n)* на *P* уровней представляет собой свертку на текущем *i*-том уровне ($i\in\overline{1,P}$) сигнала с полосовыми фильтрами с коэффициентами *g(n)*, *h(n)* для получения высоко- (d_{im}) и низкочастотных (c_{im}) составляющих [5-6]:

$$d_{im}=2^{1/2}\sum_{n=0}^{N/2^{i-1}-1}c_{i-1,n}g_{n+2m},\quad c_{im}=2^{1/2}\sum_{n=0}^{N/2^{i-1}-1}c_{i-1,n}h_{n+2m},\quad c_{0n}=s(n),\quad m\in\overline{0,N/2^{i-1}-1}.$$

Дискретное вейвлет-преобразование формирует компактный результирующий набор коэффициентов, но при этом накладывает серьезные ограничения на выбор масштабов преобразования. Масштаб, на котором проводится анализ сигнала, может быть выбран только из фиксированного ряда значений. Непрерывное вейвлет-преобразование сигнала *s(t)* является наиболее информативным представлением частотно-временных и масштабно-временных свойств сигнала:

$$CWT_s(a,b)=|a|^{-1/2}\int_{-\infty}^{\infty}s(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt\,,$$

где $\Psi(t)$ — вейвлет, a — масштабный коэффициент, b — сдвиг.

Чтобы получить вейвлет-коэффициенты дискретного сигнала $s(n)$ длиной N, необходимо применить численное интегрирование и заменить интегралы суммами. В результате чего получим формулу, представляющую собой аппроксимацию непрерывного вейвлет-преобразования:

$$d_{ml}=\sum_{n=0}^{N-1}s(n)\psi_{ml}(n)\Delta t,\quad j_{\min}\le m\le j_{\max},\quad 0\le l\le N-1,\quad 0\le l\le N-1$$

где Δt — величина, обратная частоте дискретизации; $\psi_{ml}(t)=a_0^{-m/2}\psi\left(a_0^{-m}t-b_0l\right)$,

$a_0>1, b\ne 0$, j_{max}, j_{min} — максимальный и минимальный уровни разложения.

Другим подходом выделения акустических параметров, основанным на теории образования

речи, является метод FB-20 [7], основанный на кепстральном анализе и осуществляющий вычисление мел-частотных кепстральных коэффициентов (MFCC).

$$\hat{s}(m) = s(m)w(m), \quad w(m) = 0.54 + 0.46\cos\frac{2\pi m}{N},$$

$$\hat{S}(k) = \sum_{m=0}^{N-1} \hat{s}(m)e^{-j(2\pi/N)km}, \quad k \in \overline{0, N-1},$$

$$E_i = \lg\left(\sum_{k=k1_i}^{k2_i} \left(\hat{S}(k)\right)^2 w(k)\right), \quad i \in \overline{1, P},$$

$$w(k) = \begin{cases} 0, & k < k1_i \\ \dfrac{k - k1_i}{\Delta K_i / 2}, & k1_i \le k \le k1_i + \Delta K_i / 2 \\ \dfrac{k2_i - k}{\Delta K_i / 2}, & k1_i + \Delta K_i / 2 \le k \le k2_i \\ 0, & k > k2_i \end{cases}$$

w(k) — треугольное окно, $\Delta K_i = k_{2i} - kli$,

$$MFCC_j = \sum_{i=1}^{P} E_i \cos\left(j(i - 0.5)\pi / P\right), \quad j \in \overline{1, P},$$

где P — количество мел-частотных полос.

К подходам выделения акустических параметров, основанных на теории образования речи, относится также метод кодирования с линейным предсказанием (КЛП) [3-4].

Линейный предсказатель порядка p с коэффициентами a_k определяется как система:

$$s(n) = \sum_{k=1}^{p} a_k s(n-k),$$

имеющая передаточную функцию:

$$K(z) = \frac{G}{1 - \sum_{k=1}^{p} a_k z^{-k}},$$

где G — коэффициент усиления модели.

Пусть $R(i)$ — автокорреляционная функция:

$$\hat{s}(m) = s(m)w(m), \quad w(m) = 0.54 + 0.46\cos\frac{2\pi m}{\Delta N}$$

$$R(i) = \sum_{m=0}^{N-1-i} \hat{s}(m)\hat{s}(m+i), \quad 1 \le i \le p$$

где i — порядок линейного предсказателя.

Коэффициенты линейного предсказания a_j, согласно алгоритму Дарбина, вычисляются следующим образом:

$$E^{(0)} := R(0)$$

$$k_i := \left[R(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} R(i-j) \right] \Big/ E^{(i-1)}, \quad 1 \le i \le p$$

$$\alpha_i^{(i)} := k_i$$

$$\alpha_j^{(i)} := \alpha_j^{(i-1)} - k_i \alpha_{i-j}^{(i-1)}, \quad 1 \le j \le i-1$$

$$E^{(i)} := (1 - k_i^2) E^{(i-1)}$$

$$a_j := \alpha_j^{(p)}, \quad \le j \le p$$

где $\alpha_j^{(i)}$ — j-й коэффициент линейного предсказателя порядка i; k_i — i-й коэффициент отражения; $E^{(i)}$ - среднеквадратичная погрешность предсказания для линейного предсказателя порядка i.

Автокорреляционная функция $r(n)$ коэффициентов КЛП вычисляется согласно (21), при этом a_0 =1.

$$r(0) = \sum_{j=0}^{p} a_j^2, \quad r(n) = 2\sum_{j=0}^{p-n} a_j a_{j+n}.$$

Энергетический спектр определяется как:

$$W(k) = \frac{G^2}{\left(1 - \sum_{m=1}^{p} a_m \cos\left(\frac{2\pi}{N} km\right)\right)^2 + \left(\sum_{m=1}^{p} a_m \sin\left(\frac{2\pi}{N} km\right)\right)^2}, \quad r(n) = 2\sum_{j=0}^{p-n} a_j a_{j+n},$$

где $G^2 = R(0) - \sum_{k=1}^{p} a_k R(k)$.

Для сглаживания спектра обычно берется его логарифм $10\lg W(k)$.

Другим представлением сигнала является кепстр импульсной характеристики системы линейного предсказания. Комплексный кепстр $\hat{h}(m)$ импульсной характеристики получается с помощью рекурсивных соотношений, при этом a_0=1.

$$\tilde{h}(m) = a_m - \sum_{k=1}^{m-1} (k/m)\tilde{h}(k)a_{m-k}, \quad m \in \overline{1, p}$$

Кроме рассмотренных выше подходов к выбору акустических параметров для представления речевого сигнала, базирующихся на физиологических и психофизических особенностях слушателя и на акустической теории образования речи, в работе также предлагается в качестве признаков использовать нормированное количество импульсов равной длины (НКИРД).

Дискретный речевой сигнал $s(n)$ подвергается многократному сглаживанию фильтром:

$$v(m) = \frac{s(m-1) + s(m) + s(m+1)}{3},$$

после чего вычисляется разность исходного и сглаженного сигналов:

$$\tilde{v}(m) = s(m) - v(m).$$

Для сигнала $\tilde{v}(m)$ вычисляется d_z - количество импульсов длины z.

Затем определяется НКИРД согласно

$$\| d_z \| = d_z \Big/ \sum_{s=1}^{len} d_s .$$

Исходя из вышесказанного, в работе исследуются следующие системы признаков, полученные для сигнала длиной N на основе Фурье-, вейвлет-преобразований, КЛП и НКИРД:

1. Нормированный энергетический спектр, вычисленный на основе энергетического спектра ДПФ:

$$X_k = \frac{S^2(k)}{\sum_{i=0}^{N/2-1} S^2(i)}, \quad 0 \le k \le N/2 - 1$$

2. Мера контрастности, построенная на основе ДПФ и характеризующая изменение энергии в зависимости от полосы частот:

$$X_k = \lg\left(\frac{E_{FFT}(k)}{\sum_{i=0}^{k} E_{FFT}(i)}\right), \quad 1 \le k \le L,$$

где L – количество спектральных полос,

$E_{\mathrm{FFT}}(k) = \sum_{n=N1_k}^{N2_k} S^2(n)$ — энергия спектра на k-ой полосе, имеющей границы $N1_k$ и $N2_k$.

3. Мера контрастности, построенная на основе быстрого вейвлет-преобразования:

$$X_k = \lg\left(\frac{E_{DWT}(k+1)}{\sum_{j=1}^{k+1} E_{DWT}(j)}\right), \quad 1 \le k \le P,$$

где $E_{\mathrm{DWT}}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} d_{kn}^2$ — энергия вейвлет-спектра на *i*-том уровне разложения.

4. Мера контрастности, построенная на основе аппроксимированного непрерывного преобразования:

$$X_k = \lg\left(\frac{E_{CWT}(k + j_{\min})}{\sum_{j=j_{\min}}^{k+j_{\min}} E_{CWT}(j)}\right), \quad 1 \le k \le j_{\max} - j_{\min},$$

где $E_{\mathrm{CWT}}(i) = \sum_{n=0}^{N-1} d_{in}^2$ — энергия вейвлет-спектра на i-том уровне разложения.

5. Коэффициенты MFCC, вычисляемые с помощью алгоритма FB-20:

$$X_k = MFCC_k, \quad k \in \overline{1, P}.$$

6. Коэффициенты КЛП, вычисляемые с помощью алгоритма Дарбина:

$$X_k = a_k, \quad k \in \overline{0, p-1}.$$

7. Коэффициенты отражения КЛП, определяемые по алгоритму Дарбина:

$$X_i = k_i, \quad i \in \overline{1, p}.$$

8. Кепстр импульсной характеристики системы линейного предсказания:

$$X_k = \hat{h}(k), \quad k \in \overline{1, p}.$$

9. Площади поперечных сечений кусочно-постоянной акустической трубы, содержащей (*p+1*) цилиндрическую секцию фиксированной длины, вычисляемые с помощью коэффициентов отражения k_i:

$$X_{i-1} = A_i, \quad i \in \overline{2, p+1},$$

где $A_1 = 1, \quad A_{i+1} = \frac{1-k_i}{1+k_i} A_i, \quad i \in \overline{2, p+1}.$

10. Автокорреляция КЛП:

$$X_k = r(k), \quad k \in \overline{1, p},$$

где $r(k)$ - автокорреляция КЛП

11. Нормированный энергетический спектр КЛП:

$$X_k = \frac{W(k)}{\sum_{i=0}^{N/2-1} W(i)}, \quad 0 \le k \le N/2-1,$$

где $W(k)$ — энергетический спектр КЛП.

12. Меры контрастности энергетического спектра КЛП:

$$X_k = \lg\left(\frac{E_{LPC}(k)}{\sum_{i=0}^{k} E_{LPC}(i)}\right), \quad 1 \le k \le L,$$

где L — количество спектральных полос,

$E_{LPC}(k) = \sum_{n=N1_k}^{N2_k} W(n)$ — энергия спектра на k-ой полосе, имеющей границы N_{1k} и N_{2k}.

13. Нормированная автокорреляция:

$$X_k = \frac{R(k)}{R(0)}, \quad k \in \overline{1, p},$$

где $R(k)$ — автокорреляция.

14. НКИРД:

$$X_k = \| d_k \|,$$

На основе каждой s-й системы признаков формируются структура эталонов команд

$$Q_i^s = ((Q_{i11}^s, \ldots, Q_{i1K}^s), \ldots, (Q_{iL1}^s, \ldots, Q_{iLK}^s)), \quad Q_{ijk}^s = X_k$$

где $i \in \overline{1, \eta(\mathbf{Q}^s)}$, $\eta(\mathbf{Q}^s)$ — количество эталонов команд для s-й системы признаков,

L — количества участков равной длины (фреймов), на которые разбивается сигнал,

K — количество признаков, описывающих один фрейм.

В *блоке идентификации параметров* (блок 2.2.2) осуществляется определение значений эталонов речевых команд Q_i^s, ориентированных на конкретного диктора и определенный автомобиль.

В *блоке функционала цели* (блок 2.2.3) осуществляется формализация цели в виде

$$J = \frac{m}{n} \to \max,$$

где m — количество правильных ответов, n — общее количество экспериментов.

В *блоке распознавания* (блок 2.2.4) реализуется методика распознавания речевых команд. Эта методика использует метод динамического программирования (алгоритм DTW [8]), осуществляющий сопоставление распознаваемого сигнала с эталонами, сформированными на основе векторов признаков. В основе метода динамического программирования (алгоритма DTW) лежит рекуррентная формула

$$C^s_{i11} = D^s_{i11}, \quad C^s_{imj} = D^s_{imj} + \min(C_{i,m-1,j}, C_{i,m,j-1}, C_{i,m-1,j-1}), \quad m \in \overline{1,L},\ j \in \overline{1,L},$$

где C^s_{imj} — расстояние между левыми частями распознаваемого сигнала (фреймы от 1 до m) и i-м эталоном (фреймы от 1 до j), D^s_{imj} — расстояние между m-м фреймом распознаваемого сигнала и j-м фреймом i-го эталона.

В качестве D^s_{imj} выбрана евклидова метрика

$$D^s_{imj} = \sqrt{\sum_{k=1}^{K} (\hat{Q}^s_{mk} - Q^s_{ijk})^2},$$

где $\hat{Q}^s_{mk}$ — k-й признак m-го фрейма распознаваемой команды,

Q^s_{ijk} — k-й признак j-го фрейма i-го эталона, s — тип системы признаков.

Количественная оценка сопоставления сигнала $\hat{Q}$ с эталонами Q_i вычислялась в соответствии с функционалом

$$\Im = \min_i C_{iLL} \to \min.$$

Номер эталона, к которому относился распознаваемый сигнал, определялся в соответствии с правилом

$$n = \arg\min_i C_{iLL}.$$

3. Исполнительная подсистема

Исполнительная подсистема включает в себя блоки усилителя, цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и привода.

В связи с тем, что выработанное компьютером управляющее воздействие $u(n)$, полученное от функциональной подсистемы, обладает невысокой энергией, происходит его усиление по мощности. Поскольку для управления объектом (автомобилем) требуется непрерывный сигнал, ЦАП преобразует к аналоговому виду усиленный цифровой сигнал и передает его приводу в виде $u(t)$.

4. Численное исследование

В экспериментах участвовало 100 дикторов, произносивших 20 команд (вперед, назад, налево, направо, быстрее, медленнее, поворот, стоп, включить отопление, выключить отопление, включить кондиционер, выключить кондиционер, включить двигатель, выключить двигатель и др.). В табл.1 приведены результаты распознавания речевых команд.

Численное исследование позволяет сделать вывод, что из исследуемых систем признаков при распознавании речевых команд наиболее перспективным являются MFCC, коэффициенты отражения КЛП, нормированная автокорреляция, нормированное количество импульсов равной длины.

Таблица 1

Результаты численного исследования систем признаков

Система признаков	Вероятность распознавания
коэффициенты КЛП	0.58
коэффициенты отражения КЛП	0.96
автокорреляция КЛП	0.6
кепстр КЛП	0.59
площади поперечных сечений акустической трубы КЛП	0.81
нормированная автокорреляция	0.96
нормированный энергетический спектр КЛП	0.38
меры контрастности КЛП	0.73
нормированный энергетический спектр ДПФ	0.87
меры контрастности ДПФ	0.6
меры контрастности ДВП	0.95
меры контрастности НВП	0.84
нормированное количество импульсов равной длины	0.96
MFCC	0.97

Однако ложное распознавание составляет не менее 0.03 (табл.1), что для ряда задач может оказаться неприемлемым. Для уменьшения ошибочного распознавания предлагается совместное использование систем признаков.

В этом случае номер распознанной команды определялся в соответствии с решающим правилом, которое предложено автором.

$$n = \begin{cases} n1, & n1 = n2 \\ 0, & n1 \neq n2 \end{cases},$$

$$n1 = \arg\min_i C^v_{iLL}, n2 = \arg\min_i C^w_{iLL}, \quad v \neq w .$$

При совместном использовании систем признаков MFCC и коэффициентов отражения вероятность ложного распознавания составляет 0.01.

Выводы

В статье были предложены структура вербальной системы управления автомобилем; методика формирования эталонов речевых команд; методика распознавания речевых команд; проведен количественный анализ речевых команд. Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах управления движением транспорта.

Список литературы

1. Интеллектное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федунов. — М.: Физико-матем. лит-ра, 2000. — 352 с.

2. Пряничников В.Е., Павлов В.А., Телешев Н.С. и др. Интеллектуализация супервизорного управления мобильных роботов // Искусственный интеллект. — 2000. — № 3. — с. 391-396.

3. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов.— М.: Радио и связь,1981.— 496с.

4. Rabiner L.R., Jang B.H. Fundamentals of speech recognition. — New Jersey: Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, 1993. — P. 507.

5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — М.: РХД, 2004. — 464 с.

6. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. — М.: Мир, 2005. — 671 с.

7. Davis S.B., Mermelstein P. Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences // IEEE Trans. on Acoustic, Speech and Signal Processing. — 1980. — Vol.28, №4. — 357–366 pp.

8. Винцюк Т. К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. — К.: Наук. думка, 1987. — 261 с.

Стаття надійшла до редакції 28.10.2007 р.

АВТОРИ НОМЕРУ

1. **Важев О.Я., Донбаська національна академія будівництва та архітектури, м. Макіївка**
2. **Вербицький В.Г., Донецький інститут автомобільного транспорту**
3. **Волохов О.С., Донецький інститут автомобільного транспорту**
4. **Криводубський О.О., Донецький інститут автомобільного транспорту**
5. **Лукічов О.В., Донецький інститут автомобільного транспорту**
6. **Макаров В.А., Донецький інститут автомобільного транспорту**
7. **Мойся Д.Л., Донецький інститут автомобільного транспорту**
8. **Полтавець В.В., Донецький інститут автомобільного транспорту**
9. **Селякова С.М., Донецький інститут автомобільного транспорту**
10. **Скобцов Ю.О., Донецький національний технічний університет**
11. **Сотніков О.Л., Донецький національний технічний університет**
12. **Столяренко М.О., Донецький інститут автомобільного транспорту**
13. **Федоров Є.Є., Донецький інститут автомобільного транспорту**
14. **Хмільовий С.В., Донецький національний технічний університет**
15. **Чухаркин А.В., Донбаська національна академія будівництва та архітектури, м. Макіївка**

ПРАВИЛА ПОДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. Для публікування в журналі «Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту» приймаються неопубліковані раніше наукові статті в галузі транспорту і двигунів внутрішнього згоряння; проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг; надійності й довговічності механізмів і машин; транспортних технологій; економіки транспорту.

Для публікації наукової статті в редакцію необхідно представити наступні документи:

– **код УДК** (універсальний десятичний класифікатор);

– **анотацію** українською, російською та англійською мовами;

– е**кспертний висновок** про можливість відкритого публікування;

– **витяг із протоколу** засідання кафедри про дозвіл відкритого публікування статті;

– **завірену рецензію** доктора наук;

– **відомості про автора (-ів)** (прізвище, ім'я та по батькові, вчений ступінь, вчене звання, посада, місце роботи, службовий або домашній телефон, адреса або e-mail).

Текст рукопису повинен містити такі розділи, як:

– **постановка проблеми**, де відображається історія предмету дослідження, актуальність та сучасний стан проблеми;

– **аналіз останніх досліджень**, на які спирається автор, виділення невирішених раніше аспектів загальної проблеми, яким присвячується означена стаття;

– **мета статті** (постановка задачі);

– **основний розділ** (можливі підрозділи);

– **висновки**, де стисло та чітко сумуються основні результати, які були одержані автором (-ами).

Стаття подається у 2-х варіантах — у друкованому вигляді на папері формату А4 (2 пр., з нумерацією сторінок) та електронному (на дискеті 3,5 дюйми).

У журналі друкуються статті українською, російською та англійською мовами.

Вимоги до рукописів

1. **Ініціали та прізвища автора (-ів),** назву статті необхідно представити українською, російською та англійською мовами.

2. **Основні елементи статті** розміщуються у наступній послідовності: код УДК; ініціали та прізвища авторів; повна назва організації, в якій виконані дослідження; назва статті; анотація мовою оригіналу (не більш 80 слів, ширина рядка 130 мм).

3. **Обсяг** наукової статті 5–10 сторінок тексту, які включають таблиці, ілюстрації (4 рисунки дорівнюються 1 сторінці), перелік літератури. Обзорні статті — до 12 сторінок, інформаційні та рекламні — не більше 1 сторінки.

4. **Текст** повинен бути набраний у форматі Word for Windows версії 6.0–8.0.

– параметри сторінки – А4 (210 х 297 мм);

– орієнтація — книжкова;

– поля — верхнє — 15 мм, нижнє — 25 мм, ліве — 20 мм, праве — 20 мм;

– шрифт – Times New Roman Cyr., розмір — 12 пунктів;

– весь текст повинен бути набраний стилем «Звичайний» (Normal);

– перша строка — відступ 7,5 мм;

– міжрядковий інтервал — 1,5;

– вирівнювання — на ширину сторінки.

5. **Перелік літератури** виконується згідно ГОСТу 7.1-84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления» та в порядку посилання.

6. **Таблиця** повинна мати тематичну назву та порядковий номер (без знаку №), на який дається посилання у тексті.

7. **Рисунки та графіки** повинні бути пронумеровані в порядку посилання у тексті. Кожний рисунок розміщується в окремому файлі (формати bmp, tif; інші — тільки з дозволу редакції). Підрисуночні підписи з номером рисунка, пишуться на окремому папері.

Кольорові та фонові рисунки не допускаються.

8. **Формули, терміни, одиниці виміру:**

Усі формули повинні бути набрані у редакторі формул **Microsoft Equation 2.0, 3.0.** В редакторі формул повинні бути наступні параметри:

– відстань до знаку — 60%;

– розмір — звичайний — 12 пт.; великий індекс 8 пт.; маленький індекс — 6 пт.; великий символ — 12 пт.; маленький символ — 10 пт.

Нумерація формул дається арабськими цифрами в круглих дужках праворуч.

При виборі одиниць виміру слід дотримуватись системи СІ. Ціла частина числа від десятичної відділяється комою. Посилання на джерела беруться у квадратні дужки.

Статті, які не відповідають вимогам, повертаються авторам для доробки.

1. І.В. Базова, інж.
2. В.В. Біліченко, Вінницький національний технічний університет
3. А.Є. Бондаренко, Донецький інституту автомобільного транспорту
4. О.А. Веремчук, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
5. А.А. Верховодов, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
6. В.М. Глінчук, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
7. А.В. Гончаров, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
8. В.К. Губенко, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
9. Г.С. Гудз, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів
10. А.П. Гусєв, Луцький державний технічний університет
11. Г.В. Дьяченко, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
12. І.П. Енглезі, Донецький інституту автомобільного транспорту
13. О.Р. Клипко, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів
14. А.П. Кравченко, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
15. Р.В. Колодницька, Житомирський державний технологічний університет
16. Ю.А. Куликов, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
17. О.П. Левківський, Національний технічний університет, м. Київ
18. П.Р. Левковець, Національний технічний університет, м. Київ
19. А.А. Лямзин, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
20. С.В. Мисковець, Луцький державний технічний університет
21. Г.І. Нечаєв, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
22. Я.І. Нефедова, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
23. І.В. Николаєнко, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
24. А.Г. Остренко, Севастопольський національний технічний університет
25. А.А. Пешков, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
26. В.П. Сахно, Національний технічний університет, м. Київ
27. Є.В. Смирнов, Вінницький національний технічний університет
28. В.М. Сондак, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
29. М.Е. Слободянюк, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
30. А.В. Тарасенко, Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь
31. Ю.Н. Томачинский, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
32. А.С. Тригуб, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ
33. А.О. Харченко, Севастопольський національний технічний університет

ПРАВИЛА ПОДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. Для публікування в журналі "Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту" приймаються неопубліковані раніше наукові статті в галузі транспорту і двигунів внутрішнього згоряння; проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг; надійності і довговічності механізмів і машин; транспортних технологій; економіки транспорту.

Для публікації наукової статті в редакцію необхідно представити наступні документи:

- **код УДК** (універсальний десятичний класифікатор);
- **анотацію** українською, російською та англійською мовами;
- **експертний висновок** про можливість відкритого публікування;
- **витяг із протоколу** засідання кафедри про дозвіл відкритого публікування статті;
- **завірену рецензію** доктора наук;
- **відомості про автора (-ів)** (прізвище, ім'я та по-батькові, вчений ступінь, вчене звання, посада, місце роботи, службовий або домашній телефон, адреса або e-mail).

Текст рукопису повинен містити такі розділи, як:

- **постановка проблеми**, де відображається історія предмету дослідження, актуальність та сучасний стан проблеми;
- **аналіз останніх досліджень**, на які спирається автор, виділення невирішених раніше аспектів загальної проблеми, яким присвячується означена стаття;
- **мета статті** (постановка задачі);
- **основний розділ** (можливі підрозділи);
- **висновки**, де стисло та чітко сумуються основні результати, які були одержані автором (-ами).

Стаття подається у 2-х варіантах – у друкованому вигляді на папері формату А4 (2 пр., з нумерацією сторінок) та електронному (на дискеті 3,5 дюйми).

В журналі друкуються статті українською, російською та англійською мовами.

Вимоги до рукописів

1. **Ініціали та прізвища автора (-ів),** назву статті необхідно представити українською, російською та англійською мовами.
2. **Основні елементи статті** розміщуються у наступній послідовності: код УДК; ініціали та прізвища авторів; повна назва організації, в якій виконані дослідження; назва статті; анотація мовою оригіналу (не більш 80 слів, ширина строки 130 мм).
3. **Обсяг** наукової статті 5-10 сторінок тексту, які включають таблиці, ілюстрації (4 рисунки прирівнюються 1 сторінці), перелік літератури. Обзорні статті – до 12 сторінок, інформаційні та рекламні – не більш 1 сторінки.
4. **Текст** повинен бути набраний у форматі Word for Windows версії 6.0-8.0.
   - параметри сторінки – А4 (210 х 297 мм);
   - орієнтація – книжкова;
   - поля – верхнє – 15 мм, нижнє –25 мм, ліве – 20 мм, праве – 20 мм;
   - шрифт – Times New Roman Cyr., розмір – 12 пунктів;
   - весь текст повинен бути набраний стилем "Звичайний" (Normal);
   - перша строка – відступ 7,5 мм;
   - міжстрочний інтервал – 1,5;
   - вирівнювання – на ширину сторінки.
5. **Перелік літератури** виконується згідно ГОСТу 7.1-84 "Библиографическое описание до-

кумента. Общие требования и правила составления" та в порядку посилання.
6. **Таблиця** повинна мати тематичну назву та порядковий номер (без знаку №), на який дається посилання у тексті.
7. **Рисунки та графіки** повинні бути пронумеровані в порядку посилання у тексті. Кожний рисунок розміщується в окремому файлі (формати bmp, tif; інші – тільки з дозволу редакції). Підрисуночні підписи з номером рисунка, пишуться на окремому папері.
Кольорові та фонові рисунки не допускаються.
8. **Формули, терміни, одиниці виміру:**
Усі формули повинні бути набрані у редакторі формул **Microsoft Equation 2.0, 3.0.** В редакторі формул повинні бути наступні параметри:
- відстань до знаку – 60%;
- розмір - звичайний – 12 пт.; великий індекс 8 пт.; маленький індекс – 6 пт.; великий символ – 12 пт.; маленький символ – 10 пт.
Нумерація формул дається арабськими цифрами в круглих дужках праворуч.
При виборі одиниць виміру слід дотримуватись системи СІ. Ціла частина числа від десятичної відділяється комою. Посилання на джерела беруться у квадратні дужки.