ВЕСТНИК

Белорусско-Российского университета

Научно-методический журнал *Периодичность – 4 раза в год*
Издается с октября 2001 г.

1 (38) 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ВАСИЛЕВСКИЙ В. И. Алгоритм бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС …….. 5

ВАСИЛЕВСКИЙ В. И. Концепция создания бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС …..……..... 11

ЛУСТЕНКОВ М. Е. Комбинированная планетарная передача: основы кинематики ……..…….. 18

МИНАКОВ А. П., ЛУСТЕНКОВ М. Е., ИЛЬЮШИНА Е. В., БЫЧИНСКИЙ К. А. Новый эффективный способ ремонта гильз дизельных двигателей внутреннего сгорания тонким поверхностным пластическим деформированием ……..... 27

РЫНКЕВИЧ С. А. Эффект дрейфа ……..... 38

ТАРАСИК В. П. Синтез алгоритма автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической трансмиссией...……...…..... 46

ТЕРЕШКО И. В., ЛОГВИН В. А., РЕДЬКО В. П. Эффект дальнодействия и формирование нанокластеров в металлах при воздействии плазмы тлеющего разряда ……..…..…..... 59

ХАБИБУЛЛИН А. И., ЛОВШЕНКО Ф. Г. Исследование обрабатываемости давлением механически легированной дисперсно-упрочненной меди ……..…..…..... 71

ШАТУРОВ Д. Г., ЖОЛОБОВ А. А., ШАТУРОВ Г. Ф. Исследование геометрических параметров чашечного резца с обновляемой режущей кромкой ……..……... 81

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

НОВИКОВ В. А., ШИЛОВ А. В. Исследование коэффициента отражения пленки, визуализирующей магнитные поля в области дефекта ……..... 88

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

САЗОНОВ И. С., БАСИНЮК Т. К. Природная среда и устойчивое развитие – объект информационного ресурса базы данных «Экология и природопользование в Беларуси» Центральной научной библиотеки имени Якуба Коласа НАН Беларуси …….…….....……. 99

ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

КОЗЛОВА Л. Г., ШУБАДЕЕВА С. В. Разработка направлений повышения эффективности деятельности организации здравоохранения на основе построения модели использования ее экономического потенциала ……...……. 106

НАРКЕВИЧ Л. В., БОРОВИКОВА К. П. Прогнозирование объема продаж торговой организации с учетом колебаний спроса…….. 116

- *Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам*
- *Публикуемые материалы рецензируются*
- *Подписные индексы: для индивидуальных подписчиков – 00014*
  для предприятий и организаций – 000142

CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING

VASILEVSKY V. I. On-board system algorithm for diagnosing brakes of linehaul vehicles ……. 5

VASILEVSKY V. I. The concept of the development of an on-board system for linehaul vehicle brakes diagnostics……..... 11

LUSTENKOV M. Y. Combined planetary transmission: fundamentals of kinematics ……..…..... 18

MINAKOV A. P., LUSTENKOV M. Y., ILYUSHINA E. V., BYCHINSKY K. A. A new effective method for repairing cylinder sleeves of diesel engines by using fine surface plastic deformation ……..…… 27

RYNKEVICH S. A. Drift effect ……... 38

TARASIK V. P. Synthesis of an automatic gear shift algorithm for vehicles with hydromechanical transmission ……..….. 46

TERESHKO I. V., LOGVIN V. A., REDKO V. P. The effect of long-range action and formation of nanoclusters in metals under the influence of glow-discharge plasma ……..…..... 59

KHABIBULLIN A. I., LOVSHENKO F. G. The research into fabricability of mechanically alloyed dispersion-strengthened copper ……..…..... 71

SHATUROV D. G., ZHOLOBOV A. A., SHATUROV G. F. The study of geometric parameters of the cup tool with a renewed cutting edge ……..…..... 81

INSTRUMENT MAKING

NOVIKOV V. A., SHILOV A. V. The study of the reflection coefficient of the film visualizing magnetic fields in the defect zone ...……..……...…..…… 88

LABOUR PROTECTION. ENVIRONMENT PROTECTION. GEOECOLOGY

SAZONOV I. S., BASINIUK T. K. Natural environment and the sustainable development are the object of the information resource of the «Ecology and nature management in Belarus» database of the Yakub Kolas central science library of the national academy of sciences of the Republic of Belarus...……..…..... 99

ECONOMICS. ECONOMIC SCIENCES

KOZLOVA L. G., SHUBADEYEVA S. V. The development of ways of increasing the effectiveness of a public health institution activities based on constructing the model of using its economic potential ……..……..... 106

NARKEVICH L. V., BOROVIKOVA K. P. Forecasting of sales of a commercial organization with consideration of variations in demand …….. 116

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.113

В. И. Василевский

АЛГОРИТМ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТОРМОЗОВ МАГИСТРАЛЬНОЙ АТС

UDC 629.113

V. I. Vasilevsky

ON-BOARD SYSTEM ALGORITHM FOR DIAGNOSING BRAKES OF LINEHAUL VEHICLE

Аннотация

Алгоритм бортовой системы диагностики тормозов, использующий в качестве источников информации силовые факторы, основан на регулярных закономерностях их изменений и осуществляет контроль синхронности блокировки колес путем анализа производных тормозных моментов и установления направлений действия сил в тягово-сцепном устройстве магистральной АТС.

Ключевые слова:

алгоритм бортовой системы диагностики магистральной АТС, отрицательный знак производной тормозного момента, направление сил в сцепном устройстве, блокировка колеса, скольжение пятна контакта колеса, силовые факторы, направление действия силы в тягово-сцепном устройстве.

Abstract

The algorithm for the on-board system of brakes diagnostics, which uses force factors as data sources, is based on regular patterns of their changes, and monitors the synchronization of wheels blocking by analyzing derivatives of braking toques and determining directions of forces in the towing hitch of a line-haul vehicle.

Key words:

algorithm of the on-board system for the diagnostics of linehaul vehicles, negative sign of a braking torque derivative, wheel blocking, slip of the wheel contact patch, force factors, direction of the force in the towing hitch.

Для проведения натурных испытаний в качестве объектов были использованы седельный автопоезд МАЗ-64229 + + МТМ 9330 (рис. 1, а) и автомобиль-тягач МАЗ-544018-320-030 (рис. 1, б). На рис. 2 представлено размещение осциллографа, макетного образца электронной системы диагностики тормозных механизмов, высокочастотного блока питания датчиков измерения моментов и сил взаимодействия между звеньями автопоезда.

Методика испытаний предусматривала регистрацию изменения тормозных моментов, реализуемых колесами автопоезда с опорной поверхностью с различными начальными скоростями торможения (опорная поверхность – мокрый асфальт), и сил взаимодействия между звеньями автопоезда в режимах экстренного торможения.

При проведении испытаний предусматривалась возможность экстренного торможения с отключенными тор-

© Василевский В. И., 2013

мозами полуприцепа во время движения поезда по траектории «переставка». На рис. 3 и 4 представлены осциллограммы записей тормозных моментов на переднем колесе тягача МАЗ-544018-320-030. Аналоговый сигнал от датчика измерения тормозного момента преобразовывался в цифровой код с помощью преобразователя для записи на компьютере.

Анализ результатов измерений тормозных моментов, реализуемых колесами с дорогой, показал, что при экстренном торможении изменения моментов подчиняются регулярной закономерности. Это происходит таким образом, что после достижения максимума момента наблюдается его спад, характеризующий блокировку колес.

Рис. 1. Объекты испытаний: автопоезд МАЗ-64229 + МТМ 9330 и тягач МАЗ-544018-320-030

а) б) в)

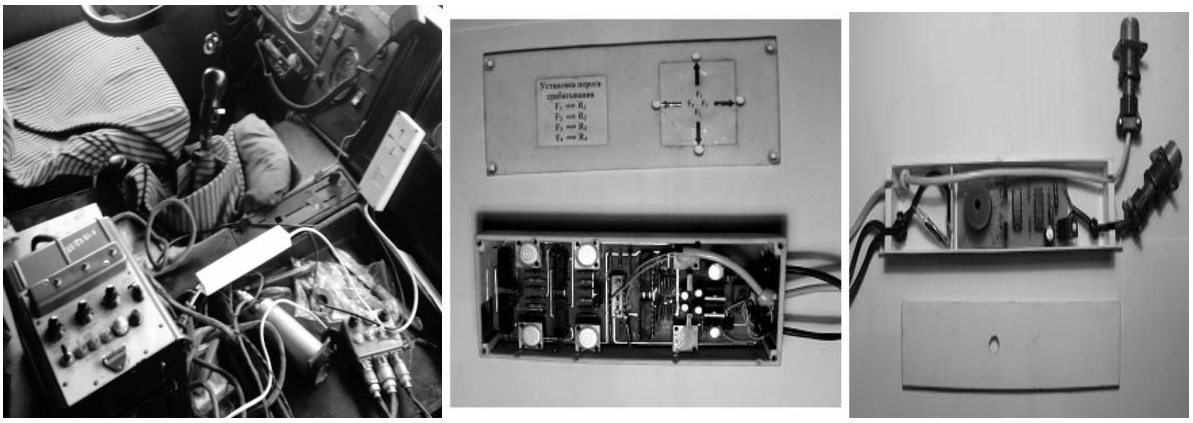


Рис. 2. Измерительная аппаратура в кабине тягача (а); макетный образец бортовой системы диагностики синхронности срабатывания тормозов автопоезда с панелью визуальной индикации несинхронности работы тормозов (б); генератор питания датчиков измерения моментов и сил в шкворне (в) АТС МАЗ

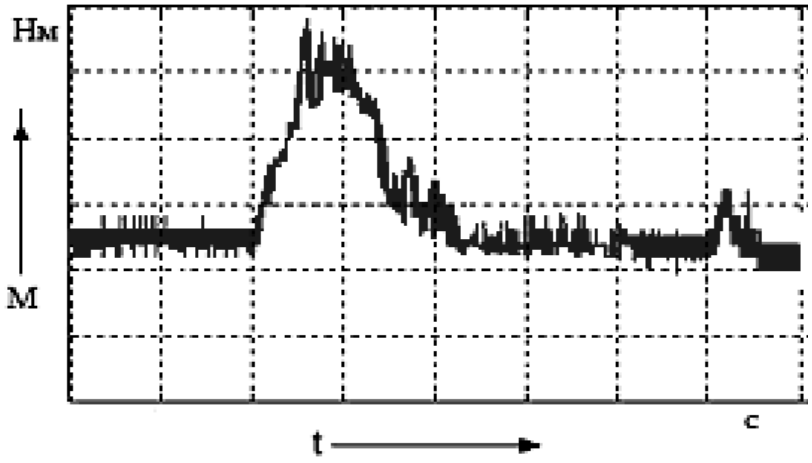


Рис. 3. Осциллограмма изменения тормозного момента автомобиля-тягача МАЗ-544018-320-030 (опорная поверхность – уплотненный снег; начальная скорость торможения 30 км/ч)

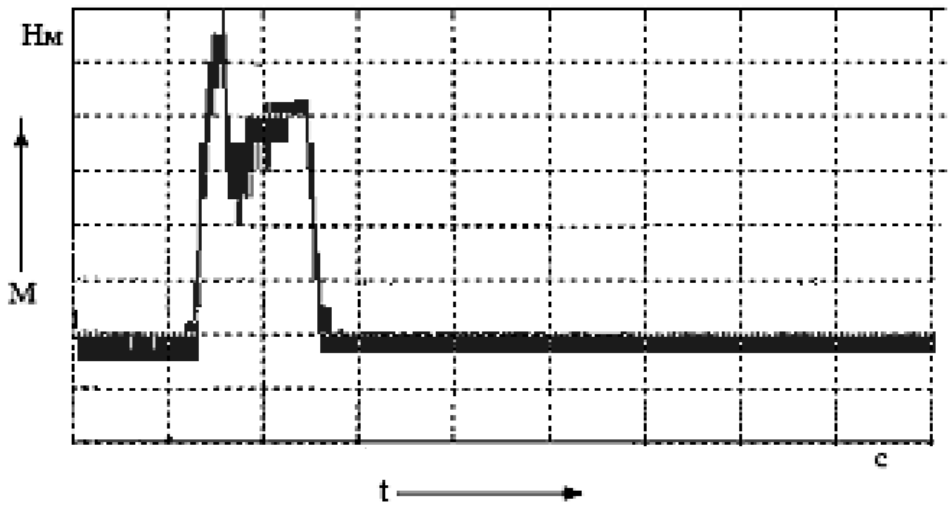


Рис. 4. Осциллограмма изменения тормозного момента автомобиля-тягача МАЗ-544018-320-030 (опорная поверхность – мокрый асфальт; начальная скорость торможения 30 км/ч)

Следовательно, алгоритм бортовой системы диагностики синхронности срабатывания тормозов автопоезда должен идентифицировать отрицательные знаки производных моментов на всех колесах, означающих блокировку колес. Данная идентификация блокировки колес при торможении не зависит от условий сцепления и представляет однозначный критерий оценки качества функционирования тормозов и тормозного привода.

Кроме того, алгоритм должен проводить сравнение отрезков времени, при которых обнаруживаются отрицательные знаки производных тормозного момента на колесах. При этом сравнение осуществляется отсчетом от порогового момента тормозного механизма, т. е. того механизма, момент которого достигается за наиболее короткий промежуток времени. В этом случае оценка быстродействия производится установленным заданным пороговым временем, например, заданным временем быстродействия тормозного привода (техниче-

ская характеристика тормозной системы, предусмотренная заводом). В случае, если время достижения максимума момента превышает пороговое значение времени, система должна фиксировать неисправность тормоза (например, значительный износ тормозных накладок или малое значение их коэффициента трения и т. п.). На рис. 5 представлены осциллограммы записи изменения сил взаимодействия в тягово-сцепном устройстве седельного автопоезда МАЗ-64229 + МТМ 9330. Анализ осциллограмм показывает, что при прямолинейном движении автопоезда боковые силы в сцепке отсутствуют (см. рис. 5, а).

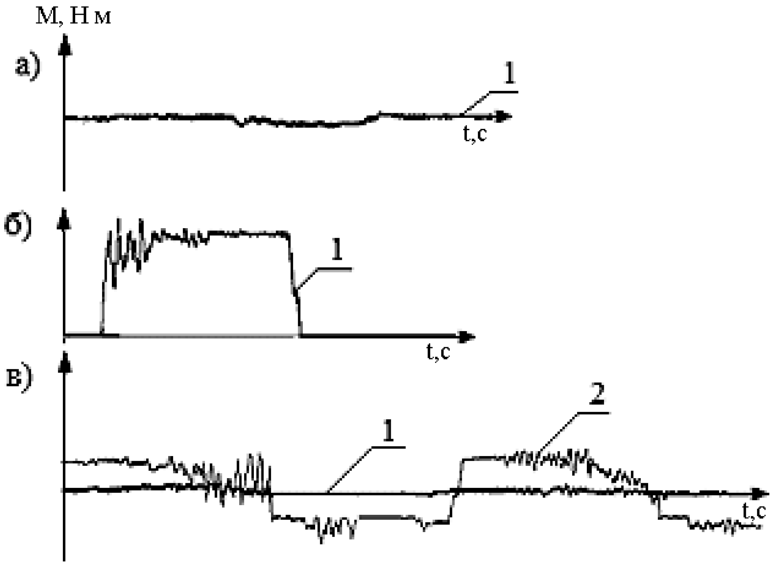


Рис. 5. Осциллограммы записей изменений сил вдоль направления продольной оси тягача и в перпендикулярном направлении относительно данной оси: 1 – изменение продольной силы при прямолинейном движении автопоезда (а); 2 – изменение продольной силы в сцепке при экстренном торможении автопоезда с отключенными тормозами полуприцепа (б); изменение продольной и боковой сил в сцепке при совершении маневра «переставка» (в)

Следовательно, признаком прямолинейного движения автопоезда может служить отсутствие боковых сил в сцепке. Данный признак может быть использован в бортовой системе диагностики магистральной АТС для идентификации траектории движения. При совершении экстренного торможения седельного автопоезда с отключенными тормозами полуприцепа наблюдалась значительная скорость нарастания продольной силы в сцепном устройстве, означающая явление ударного воздействия полуприцепа на тягач («наезд» полуприцепа на тягач). Такое изменение продольной силы связано с запаздыванием срабатывания тормозов полуприцепа, которое должно фиксироваться бортовой системой диагностики как несинхронность срабатывания тормозов автопоезда (неисправность тормозов полуприцепа или тормозного крана).

Совершение криволинейного движения всегда сопровождалось возникновением боковых сил в сцепке автопоезда.

На основе всех вышеизложенных признаков разработаны алгоритмы бортовой системы диагностики качества функционирования и синхронности срабатывания тормозов магистральной АТС (рис. 6 и 7).

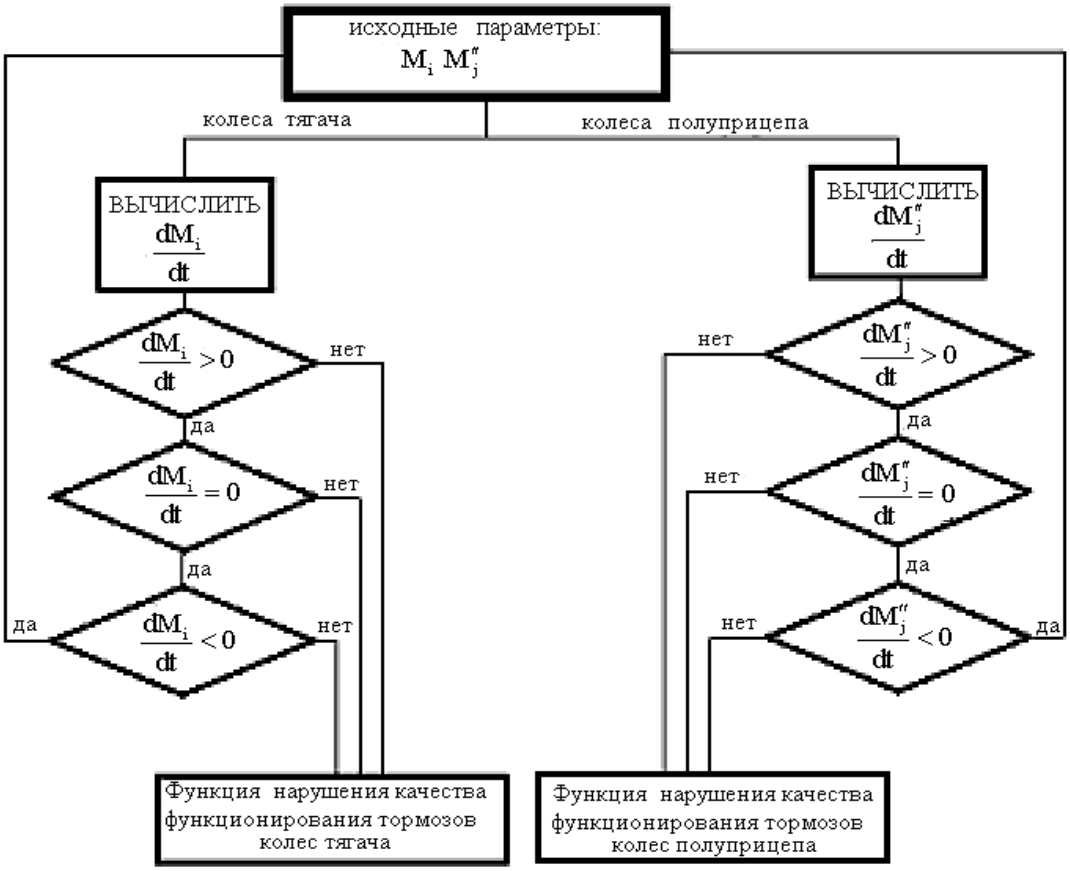


Рис. 6. Алгоритм бортовой диагностики качества функционирования тормозов магистральной АТС

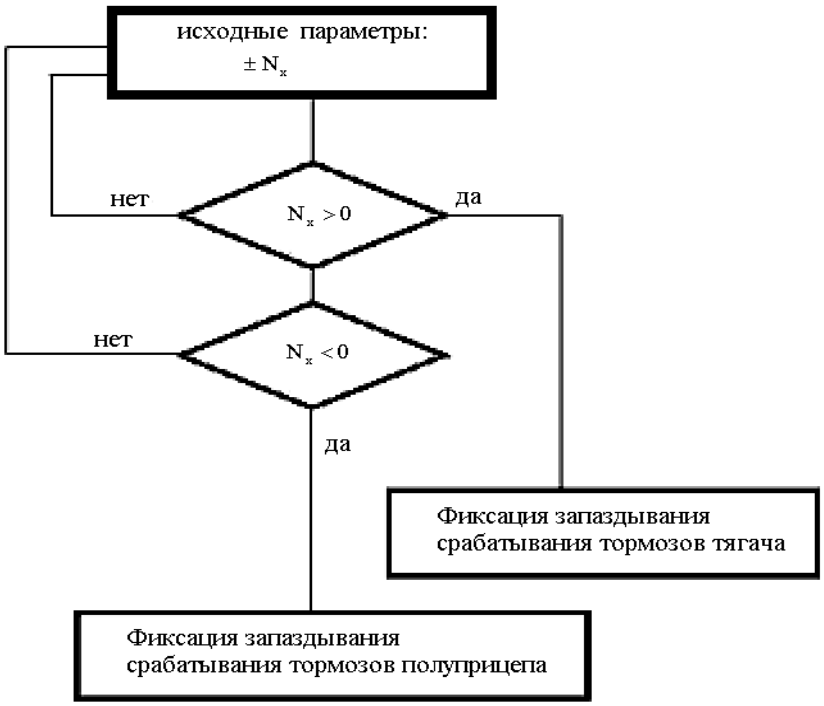


Рис. 7. Алгоритм бортовой системы диагностики синхронности срабатывания звеньев магистральной АТС

Данные алгоритмы были практически реализованы в макетном образце электронной системы диагностики тормозов автопоезда. Натурные испытания макетного образца на седельном автопоезде МАЗ подтвердили его функциональную способность и возможность практической реализации.

Выводы

1. Разработан алгоритм бортовой диагностики тормозной системы магистральной АТС, позволивший создание макетного образца, основанного на измерении и анализе тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями магистральной АТС.

2. Анализ направлений сил в тягово-сцепном устройстве седельного автопоезда показал следующее:

– оценку несинхронности срабатывания тормозов звеньев автопоезда можно производить путем идентификации направлений и модулей сил в сцепке;

– скольжение колес тягача относительно опорной поверхности вследствие ударного нагружения шкворня сцепного устройства можно идентифицировать по отрицательному знаку производной силы R_1, т. е. $\frac{dR_1}{dt} < 0$;

– боковое скольжение колес автопоезда относительно опорной поверхности можно идентифицировать по отрицательному знаку производной боковой силы R_2, т. е. $\frac{dR_2}{dt} < 0$.

3. Алгоритм бортовой системы диагностики синхронности срабатывания тормозов магистральной АТС, основанный на анализе тормозных моментов на колесах, сил взаимодействия между звеньями автопоезда, их модулей, направлений и знаков производных сил, позволил практически реализовать макетный образец бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ким, В. А.** Силовые взаимодействия звеньев магистральной АТС при торможении / В. А. Ким, Н. А. Коваленко, В. И. Василевский // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 320.

2. **Василевский, В. И.** Перспективы создания оборудования для комплексной диагностики тормозной системы магистральных АТС / В. И. Василевский, В. А. Ким, Н. А. Коваленко // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 305–306.

3. **Ким, В. А.** Взаимодействие звеньев магистральной АТС при торможении / В. А. Ким, Н. А. Коваленко, В. И. Василевский // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летнему юбилею Горского ГТУ. – Владикавказ : ГГТУ, 2003. – С. 135.

Статья сдана в редакцию 5 января 2013 года

Валерий Иванович Василевский, генеральный директор, ОАО «Могилевоблавтотранс». Тел.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.bu.

Valery Ivanovich Vasilevsky, General Director, OAO Mogilevoblavtotrans. Tel.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.bu.

УДК 629.113

В. И. Василевский

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТОРМОЗОВ МАГИСТРАЛЬНОЙ АТС

UDC 629.113

V. I. Vasilevsky

THE CONCEPT OF THE DEVELOPMENT OF AN ON-BOARD SYSTEM FOR LINEHAUL VEHICLE BRAKES DIAGNOSTICS

Аннотация

Существующие стенды диагностики тормозной системы основаны на отслеживании блокировки тормозящего колеса. Такой способ оценки качества функционирования тормозов для магистральных АТС является недостаточным, так как наличие двух и более звеньев автопоезда требует дополнительной оценки их взаимовлияния на процесс торможения.

Излагается концепция создания бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС, предусматривающая диагностику синхронности срабатывания тормозов. Дано обоснование использования новых источников информации для новой бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС – силовых факторов: тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями магистральной АТС.

Ключевые слова:

концепции создания бортовой системы диагностики магистральной АТС, источники информации, синхронность срабатывания тормозов, бортовая система диагностики, силовые факторы, фактически реализуемые моменты.

Abstract

The existing stands for brake system diagnostics are based on tracking the blocking of a braking wheel. This way of assessing the quality of brakes operation in linehaul vehicles is insufficient, because the availability of two or more units in a road train requires additional evaluation of their mutual influence on the process of braking of a road train.

The paper presents the concept of creating an on-board system for diagnosing brakes of linehaul vehicles, which provides the diagnostics of the synchronicity of brakes actuation. The paper also substantiates the usage of new sources of data for this new on-board system for linehaul vehicle brakes diagnostics - force factors: braking torques and forces of interaction between units of a linehaul vehicle.

Key words:

the concept of development of an on-board system for linehaul vehicle diagnostics, data sources, synchronicity of brakes actuation, on-board diagnostics system, force factors, actually realized moments.

Практика эксплуатации седельных автопоездов показала, что наиболее частые случаи складывания звеньев наблюдаются в режиме экстренного торможения, ведущего к ДТП с тяжелыми последствиями. Наиболее вероятной причиной складывания звеньев автопоезда является нарушение синхронности срабатывания его тормозных механизмов. Например, запаздывание срабатывания тормозов груженого полуприцепа может создать условие значительного ударного воздействия на тягач. При этом если в начале экстренного торможения имеется даже незначительный угол между продольными осями тягача

© Василевский В. И., 2013

и полуприцепа, то с большой вероятностью можно прогнозировать последующее складывание звеньев автопоезда. Создание бортовой системы диагностики тормозов позволит осуществлять непрерывный контроль качества функционирования тормозов звеньев магистральной АТС. При этом алгоритм функционирования бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС должен быть основан на высокоинформативных источниках. Для оценки влияния несинхронности срабатывания тормозов тягача и полуприцепа предлагается в качестве источников информации использовать тормозные моменты и силы взаимодействия между звеньями автопоезда. Несинхронное срабатывание тормозов приводит к возникновению сил в тягово-сцепном устройстве. Возникновение значительных сил в сцепке, например, при запаздывании срабатывания тормозов полуприцепа, может вызвать значительное ударное воздействие на тягач, что в результате приведет к складыванию звеньев автопоезда. Наибольшая вероятность возникновения ударного нагружения шарнирной связи седельного автопоезда появляется при экстренном торможении АТС. Практика показывает, что запаздывание срабатывания тормозных механизмов полуприцепа (прицепа) по отношению к тягачу носит регулярный характер, поэтому водители часто предпринимают неадекватные меры для повышения безопасности: отключают тормоза передней оси тягача, если предусматриваются рейсы в сложных дорожных условиях и с полной загрузкой полуприцепа. Как показали исследования, максимальное время запаздывания срабатывания тормозов полуприцепа по отношению к тормозам тягача может составить более 0,6 с. Это объясняется тем, что масса полуприцепа (прицепа) существенно превышает массу тягача, поэтому тормозные накладки полуприцепа изнашиваются более интенсивно, чем у тягача. Существенное возрастание времени запаздывания – одна из наиболее возможных причин складывания звеньев автопоезда. На основании теоретических исследований было установлено, что процесс экстренного торможения автопоезда с ударным воздействием на тягач можно условно разбить на четыре этапа. Главная характеристика *первого этапа* − это высокая скорость нагружения шкворня автопоезда. *Второй этап* характеризуется формированием моментов в тормозных механизмах, а их реализация происходит в контакте колес с опорной поверхностью. Причем на данном этапе моменты, реализуемые колесами, равны моментам, формируемым в тормозном механизме. *Третий этап* соответствует переходному процессу, в котором формируемый момент превышает момент, фактически реализуемый колесами, вследствие чего происходит блокировка тормозящих колес, приводящая к снижению коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью. *Четвертый этап* характеризуется полным нарушением кинематической связи колес с опорной поверхностью, а реализуемый колесами тормозной момент стабилизируется на некотором определенном значении («юз» колес). При значениях коэффициента сцепления $\varphi_{сц} = 0{,}7...0{,}8$ величина установившегося тормозного момента близка к расчетному моменту тормоза. Отсутствие складывания звеньев поезда определяется условием $|\varphi_2 - \varphi_1| = \text{const}$, где φ_1, φ_2 − курсовые углы тягача и полуприцепа.

При исследовании ударного воздействия полуприцепа на тягач установлено, что модуль силы, направленный вдоль продольной оси тягача, при начальной скорости торможения V = 60 км/ч может превышать боковые реакции колес более чем в 3,5 раза, что и обуславливает возникновение складывания звеньев. При проведении расчетов были приняты следующие условия торможения: коэффициент сцепления $\varphi_{сц} = 0{,}7$; угол меж-

ду продольными осями тягача и полуприцепа φ = 3°; время запаздывания срабатывания тормозного привода полуприцепа, по отношению к приводу тягача, составляло Δt = 0,2 с.

Для создания датчика измерения сил, включенного в сцепное устройство, были проведены расчеты по определению нагруженности шарнирного пальца автопоезда МАЗ при ударе с помощью пакета прикладных программ «Космос». При расчетах приняты следующие исходные данные: полная масса груженого полуприцепа G = 25700,0 кг; материал пальца – конструкционная сталь со следующими механическими характеристиками: предел текучести $\sigma_т$ = 620 МПа; предел прочности при растяжении $\sigma_в$ = 723 МПа; модуль Юнга $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона μ = 0,28; модуль сдвига $G = 7{,}9 \cdot 10^4$ МПа. Наибольшее напряжение наблюдалось в области галтели шкворня, а его максимальная деформация превышала 0,058 мм. Следовательно, практическая реализация датчика измерения сил в седельно-сцепном устройстве представляется возможной, т. к. при данных деформациях создание преобразователей электрических сигналов также возможно.

Многолетними исследованиями проф. В. А. Кима установлена регулярная закономерность измерения сил в контакте колес с опорной поверхностью, которая может быть использована для создания алгоритма бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС. Суть закономерности заключается в том, что скольжение пятна контакта колеса относительно опорной поверхности можно идентифицировать по обнаружению отрицательного знака производной, $\frac{dF}{dt} < 0$, где F – сила в контакте колеса с опорной поверхностью; t – время. Данная закономерность, характеризующая скольжение пятна контакта колеса при его торможении, в дальнейшем использована при создании алгоритма диагностики качества функционирования тормозов автопоезда. Кроме того, в алгоритме бортовой системы диагностики тормозов «наезд» на тягач можно идентифицировать направлением силы, возникающей в шкворне седельно-сцепного устройства автопоезда. Так, «наезд» полуприцепа на тягач характеризуется тем, что сила в шкворне направлена вдоль продольной оси тягача и совпадает с направлением его движения. Следовательно, концепция создания алгоритма бортовой диагностики синхронности срабатывания тормозов звеньев магистральной АТС состоит в измерении и анализе тормозных моментов, реализуемых колесами магистральной АТС, и сил взаимодействия между ее звеньями. Схема размещения датчиков измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями представлена на рис. 1.

Необходимыми условиями торможения автопоезда, при которых не происходит складывание его звеньев, являются:

$$R_1 = -R_1^{/}; \quad R_2 = -R_2^{/}; \qquad (1)$$

$$\sum M_0(T_i) = 0, \qquad (2)$$

где i – число колес автопоезда.

При несоблюдении условий (1) и (2) возникает риск складывания звеньев автопоезда.

Таким образом, измерение и анализ сил, перечисленных силовых факторов позволяет создание эффективного алгоритма бортовой системы диагностики качества функционирования тормозов магистральной АТС.

В основу создания датчиков измерения тормозных моментов были положены известные индуктивные преобразователи, включающие ферримагнитный сердечник, индуктивную катушку, корпус датчика, выходной контакт датчика. Блок-схема способа измерения тормозного момента представлена на рис. 2, где ОУ – опорное устройство элемента тормоза (опорная пластина барабанного тормоза, суппорт

тормозных колодок дискового тормоза и т. д.); УВТМ – устройство, воспринимающее фактически реализуемый колесом тормозной момент; ЭИУ – электронно-измерительное устройство.

На рис. 3 показан монтаж электронного датчика измерения тормозного момента в штатной конструкции барабанного тормоза МАЗ-544018-320-030.

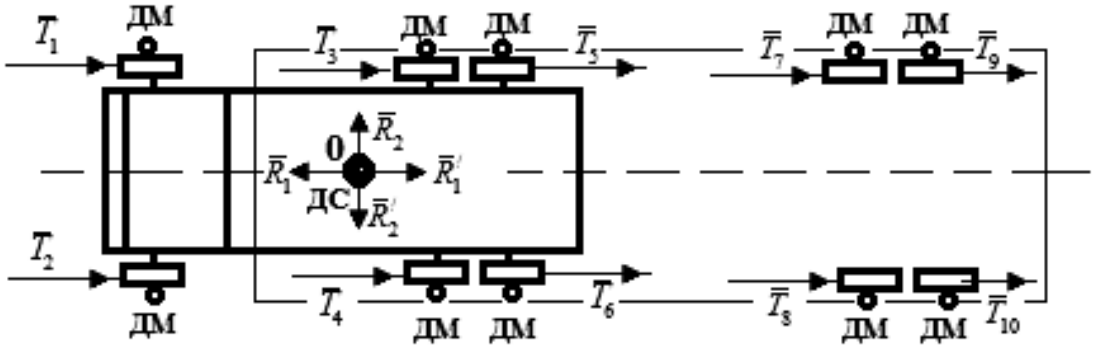


Рис. 1. Схема размещения датчиков измерения тормозных моментов и сил в тягово-сцепном устройстве седельного автопоезда: ДМ – датчик измерения фактически реализуемых колесом тормозных моментов; ДС – датчик измерения сил в шкворне седельно-сцепного устройства

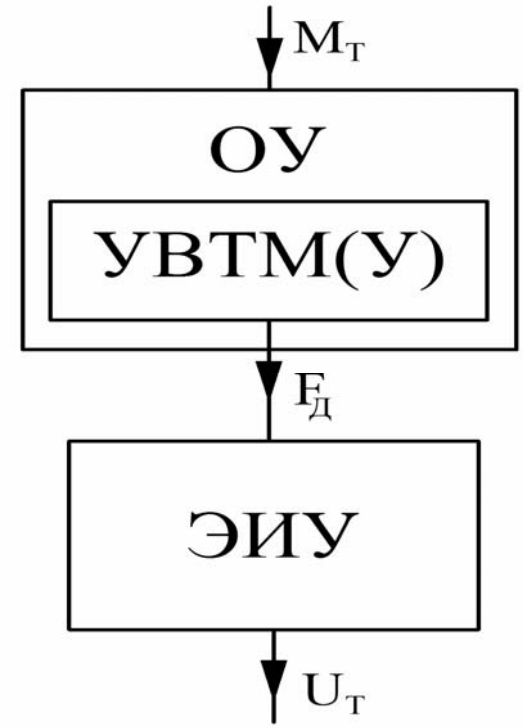


Рис. 2. Блок-схема способа измерения тормозного момента

а) б)

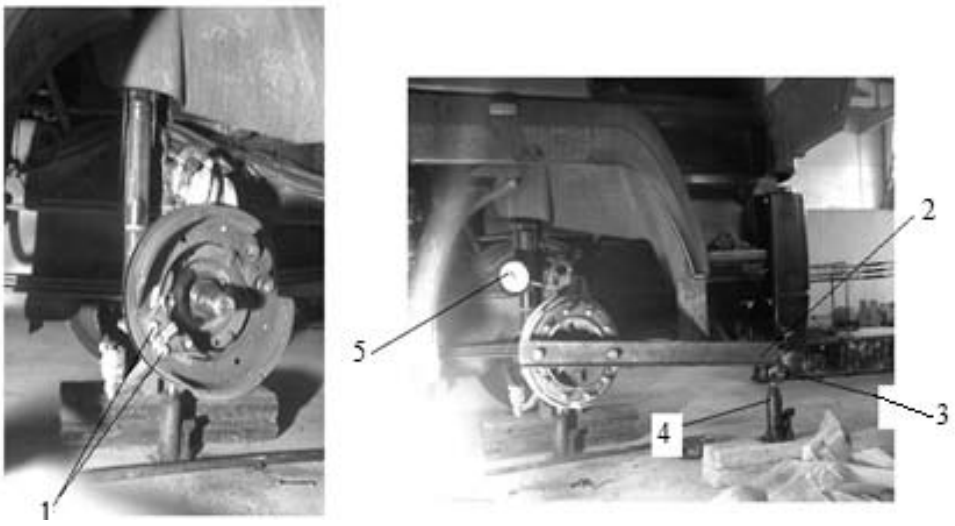


Рис. 3. Монтаж электронных датчиков в поворотных осях колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ-544018-320-030 и тарировочные приспособления: 1 – оси колодок тормоза с электронным датчиком; 2 – нагрузочный рычаг; 3 – динамометр сжатия; 4 – домкрат; 5 – манометр давления воздуха в приводе тормоза

На рис. 4 представлены поворотные оси колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ-544018-320-030, включающие электронные датчики измерения их деформаций при возникновении разжимного усилия при торможении.

Электронные датчики, выдающие электрические сигналы, пропорциональные тормозным моментам, были включены в штатную конструкцию поворотных осей вращения колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ-544018-320-030. Тарировочный график изменения момента, прикладываемого к колесу, а также рабочая зона датчика, в которой изменение момента в зависимости от давления в пневмоприводе автомобиля МАЗ-544018-320-030 приближено к линейной характеристике, приведены на рис. 5.

Рис. 4. Оси колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ-544018-320-030 с датчиком измерения момента

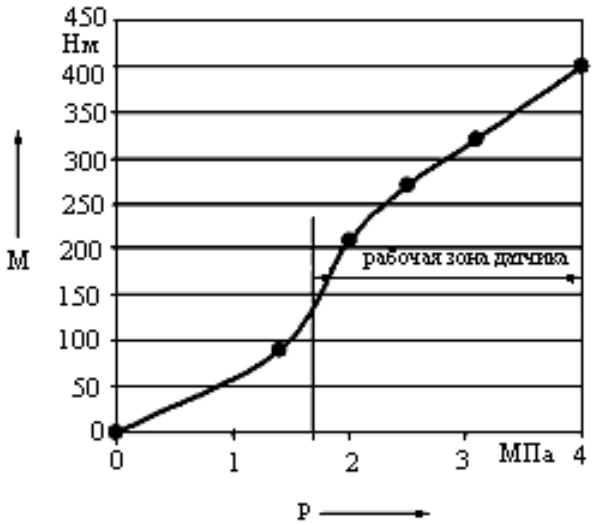


Рис. 5. Изменение момента в зависимости от давления в пневмоприводе автомобиля МАЗ-544018-320-030

На основе проведенных прочностных расчетов шкворня седельно-сцепного устройства седельного автопоезда был спроектирован индукционный датчик измерения сил взаимодействия между звеньями.

На рис. 6, а представлен шкворень седельно-сцепного устройства, который исполнен монолитно с фланцем его крепления к полуприцепу. В шкворень включен электронный датчик, выдающий электрические сигналы, пропорциональные силам, действующим на шкворень в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Монтаж шкворня с датчиком на полуприцепе седельного автопоезда МАЗ приведен на рис. 6, б.

а) б)

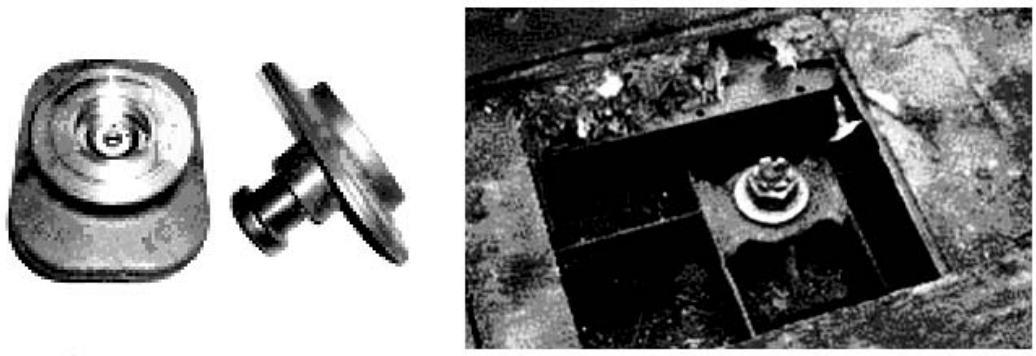


Рис. 6. Шкворень сцепного устройства автопоезда МАЗ-64229 + МТМ 9330 с датчиком измерения сил: а – шкворень сцепного устройства с датчиком измерения сил; б – монтаж седельно-сцепного устройства на полуприцепе седельного автопоезда МАЗ-64229 + МТМ 9330

Тарировка устройства измерения сил на шкворень производилась с помощью специально разработанного устройства. Для снижения концентрации напряжений в переходных галтелях поверхность крепления пальца в гнезде полуприцепа выполнена с конусностью (конусность не более 1:10). При этом величина локальных напряжений снижается на 12,6 %, а минимальный коэффициент запаса по пределу текучести материала повышается на 3,2 %.

Датчик измерения сил в шкворне представляет собой новый источник информации бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС.

Выводы

1. В качестве источников информации бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС должны быть использованы силовые факторы – тормозные моменты и силы взаимодействия между звеньями автопоезда.

2. Макетные образцы устройств измерения тормозных моментов вписываются в тормозные механизмы и не требуют их конструктивного изменения. Электрические сигналы пропорциональны тормозным моментам, а погрешность измерения момента составляет не более 5…8 %, что позволяет их использование в качестве источника информации для бортовой диагностики синхронности срабатывания тормозов магистральной АТС.

3. Критерием блокировки колеса («юз») при его торможении является отрицательный знак производной от тормозного момента по времени, $\frac{dM}{dt} < 0$, который может быть использован в алгоритме бортовой системы диагностики синхронности срабатывания тормозов магистральной АТС.

4. Анализ результатов испытаний электронного датчика, включенного в тягово-сцепное устройство седельного автопоезда, показывает, что электрический сигнал пропорционален силам, действующим на шкворень устройства (в продольном и поперечном направлениях относительно продольной оси тягача). Погрешность измерения составляет не более 10…12 %, что позволяет его использование в бортовой системе диагностики синхронности срабатывания тормозов звеньев автопоезда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ким, В. А.** Силовые взаимодействия звеньев магистральной АТС при торможении / В. А. Ким, Н. А. Коваленко, В. И. Василевский // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 320.

2. **Василевский, В. И.** Перспективы создания оборудования для комплексной диагностики тормозной системы магистральных АТС / В. И. Василевский, В. А. Ким, Н. А. Коваленко // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 305–306.

3. **Ким, В. А.** Взаимодействие звеньев магистральной АТС при торможении / В. А. Ким, Н. А. Коваленко, В. И. Василевский // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летнему юбилею Горского ГТУ. – Владикавказ : ГГТУ, 2003. – С. 135.

Статья сдана в редакцию 5 января 2013 года

Валерий Иванович Василевский, генеральный директор, ОАО «Могилевоблавтотранс». Тел.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.bu.

Valery Ivanovich Vasilevsky, General Director, OAO Mogilevoblavtotrans. Tel.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.bu.

УДК 621.83.06

М. Е. Лустенков

КОМБИНИРОВАННАЯ ПЛАНЕТАРНАЯ ПЕРЕДАЧА: ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

UDC 621.83.06

M. E. Lustenkov

COMBINED PLANETARY TRANSMISSION: FUNDAMENTALS OF KINEMATIC

Аннотация

В статье предложены конструкции комбинированной планетарной передачи, расширяющие кинематические возможности редукторов с традиционным зубчатым зацеплением. В двухвенцовый сателлит планетарной зубчатой передачи встроена передача с промежуточными телами качения. Венцы сателлита имеют возможность относительного вращения. Проанализированы кинематические зависимости разработанного механизма. Определены рациональные кинематические схемы, обеспечивающие большие передаточные отношения и высокий КПД.

Ключевые слова:

планетарная передача, тела качения, редуктор, сателлит, водило, КПД, передаточное отношение, угловая скорость.

Abstract

The designs of a combined planetary transmission expanding kinematic possibilities of reducers with traditional gearing are suggested in the paper. The transmission with intermediate rolling elements is built in the double-wheel satellite of a planetary gear. Ring gears of the satellite have a possibility of relative rotation. Kinematic dependencies of the developed mechanism are analyzed. Rational kinematic schemes providing high values of reduction ratios and high efficiency are determined.

Key words:

planetary transmission, rolling elements, reducer, satellite, drove, efficiency factor, reduction ratio, angular velocity.

Введение

Передачи с промежуточными телами качения (ППТК) с осевым их перемещением (передачи цилиндрического типа) [1] обладают рядом преимуществ: малыми габаритами в радиальном направлении, полной динамической уравновешенностью, высокой нагрузочной способностью. Передача состоит из двух кулачков, внутреннего и наружного, на цилиндрических поверхностях которых изготовлены замкнутые периодические беговые дорожки. Дорожки могут образовываться торцевыми поверхностями составных кулачков. По этим беговым дорожкам и по осевым пазам (прорезям) третьего звена – сепаратора (водила) перемещаются тела качения. Два кулачка и сепаратор образуют трехзвенный механизм с кинематикой, аналогичной кинематике планетарной передачи. Одно из звеньев является ведущим, другое – ведомым, а третье – остановленным (стойкой) при работе в редукторном (мультипликаторном) режиме. Передачи данного типа широко исследованы в [2]; за рубежом работы в данном направлении проводятся учеными Румынии [3] и Японии [4].

© Лустенков М. Е., 2013

Одним из недостатков ППТК является относительно невысокий КПД, сопоставимый с КПД червячных передач. При этом одна секция ППТК с осевым перемещением тел качения имеет низкие кинематические возможности, т. к. в одной ступени можно реализовать небольшие значения передаточных отношений (рациональный диапазон от 0,25 до 9) при условии ограниченности диаметральных размеров (до 100…120 мм).

Планетарная зубчатая передача, сконструированная по схеме 2К-Н, имеет приблизительно такой же рациональный диапазон передаточных отношений. Увеличение степени редуцирования достигается применением более сложных конструкций. Достаточно широкое распространение получила планетарная передача с двумя внутренними зубчатыми зацеплениями, конструкция которой включает водило, соединенное с ведущим валом, двухвенцовый сателлит и два центральных колеса. Одно из центральных колес является неподвижным и соединено с корпусом, а второе – с ведомым валом [5, с. 216, схема 4]. При конструктивном увеличении значений передаточного отношения КПД данной передачи резко снижается, что наглядно демонстрируется в [5, с. 216, табл. 10.16]. Так, при передаточном отношении около 100 теоретический КПД рассматриваемого механизма составит около 0,64.

Задачей исследований являлась разработка конструкции малогабаритного механизма, обеспечивающей повышение кинематических возможностей передачи с промежуточными телами качения и планетарной зубчатой передачи при сохранении малых радиальных габаритов и высокого КПД.

Конструкции комбинированной передачи и принцип ее работы

Нами разработана конструкция передачи, представляющая собой соединение в одной конструкции ППТК и планетарной зубчатой передачи с двухвенцовым сателлитом и традиционным зубчатым зацеплением. При этом возможно сохранение преимуществ обеих передач, а также использование положительных свойств, которые в данных передачах, применяемых независимо, преимуществами не являлись.

В предлагаемой комбинированной передаче с двумя внутренними зубчатыми зацеплениями в двухвенцовый сателлит встроена ППТК, причем одно из ее трех основных звеньев (внутренний кулачок, наружный кулачок или сепаратор) жестко соединено с водилом планетарной зубчатой передачи, а два других – с зубчатыми венцами двухвенцового сателлита, которые получают возможность относительного вращения.

Предлагаемая передача позволит использовать такое преимущество передачи-прототипа (планетарной зубчатой передачи с двухвенцовым сателлитом), как большие значения передаточных отношений при сохранении высокого КПД. У комбинированной планетарной передачи также сохраняется одно из основных преимуществ ППТК цилиндрического типа – малые габариты в радиальном направлении.

Проанализируем одну из кинематических схем на конкретном примере. Конструкция исследуемой передачи [6] (рис. 1) включает ведущий вал 1, связанный с водилом 2. На водиле жестко закреплен внутренний кулачок 3. В пазу (беговой дорожке) 10 внутреннего кулачка 3 располагаются тела качения 4. С наружным кулачком 5 жестко соединен зубчатый венец 6, который зацепляется с центральным зубчатым колесом 7 посредством внутреннего зацепления. Центральное (коронное) зубчатое колесо 7 закреплено в корпусе 8. Тела качения контактируют с беговой дорожкой 10 внутреннего кулачка 3, с торцовыми поверхностями 11 наружного кулачка 5, также образующими замкнутую периодическую беговую дорожку с односторонним контактом и с осевыми пазами 12

сепаратора 9. На сепараторе закреплен зубчатый венец 13, зацепляемый с центральным зубчатым колесом 14 посредством внутреннего зацепления. Зубчатое колесо 14 соединено с ведомым валом 15 передачи.

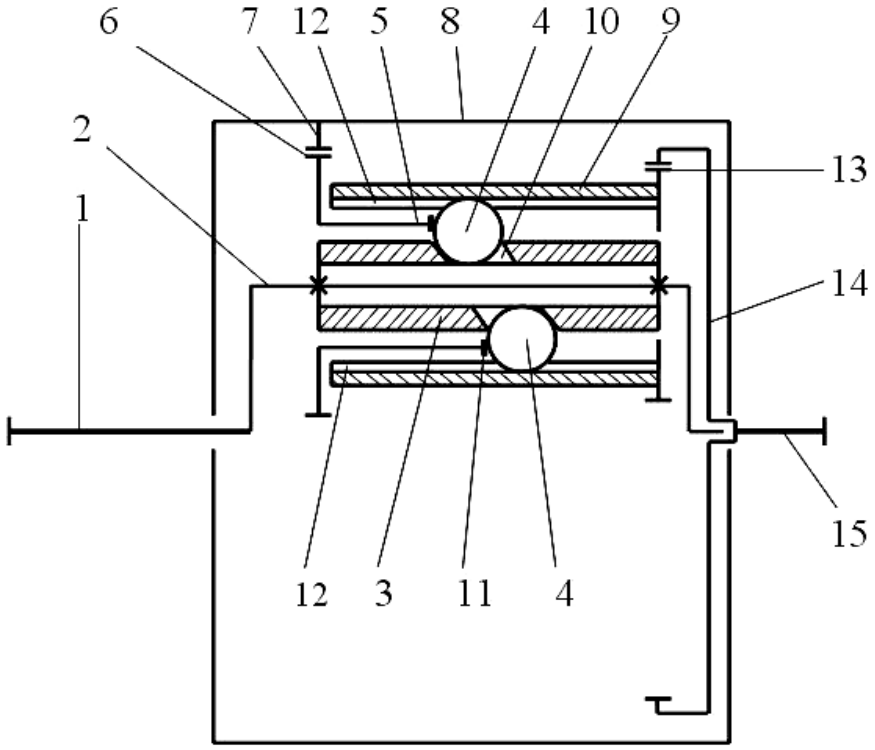


Рис. 1. Схема комбинированной передачи

Внутренний кулачок 3, наружный кулачок 5, сепаратор 9, тела качения 4 и зубчатые венцы 6 и 13 образуют двухвенцовый сателлит. При вращении входного вала 1 вращается водило 2 и жестко соединенный с ним внутренний кулачок 3. Зубчатый венец 6 зацепляется с неподвижным центральным зубчатым колесом 7, вынуждая наружный кулачок 5 поворачиваться относительно внутреннего кулачка 3. Тела качения 4 перемещаются по беговой дорожке 10 внутреннего кулачка 3, вдоль рабочих торцовых поверхностей 11 наружного кулачка 5 и вдоль пазов 12 сепаратора 9. Сепаратор 9 вращается относительно водила 2, внутреннего кулачка 3, наружного кулачка 5, вынуждая поворачиваться соединенный с сепаратором зубчатый венец 13. Последний зацепляется с центральным зубчатым колесом 14, вынуждая его вращаться, и, соответственно, вращается ведомый вал 15. При этом зубчатые венцы 6 и 13 могут вращаться с разной угловой скоростью относительно водила 2.

Исследование кинематики разработанной передачи

Аналитически определим передаточное отношение разработанного редуктора. На рис. 2, а, б изображены схемы зацепления первого (6) и второго (13) зубчатых венцов планетарной передачи (первой и второй ступеней передачи) соответственно (нумерация звеньев согласно рис. 1 сохранена).

Предположим, что заданными являются угловая скорость ω_1 ведущего вала 1, числа зубьев Z_7 и Z_{14} центральных зубчатых колес первой и второй

ступеней передачи (т. к. они определяют ее радиальные габариты), число зубьев венца сателлита Z_6, а также используются зубчатые зацепления без смещения и одинаковый модуль m в обеих ступенях. Исходя из этого, можно установить следующие зависимости для соосной передачи:

$$h = R_7 - R_6 = m\left(Z_7 - Z_6\right),$$

$$Z_{13} = Z_{14} - Z_7 + Z_6, \qquad (1)$$

где h – высота эксцентриситета водила; R_6 и R_7 – радиусы зубчатых колес 6 и 7 соответственно.

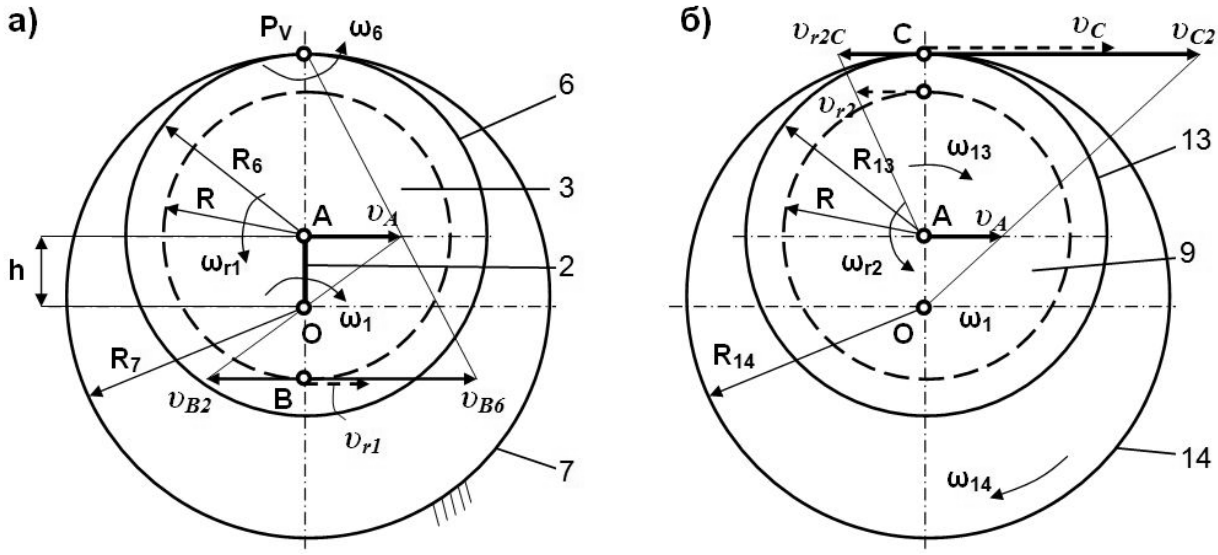


Рис. 2. К выводу кинематических зависимостей комбинированной планетарной передачи: а – для первой ступени; б – для второй ступени

Угловая скорость зубчатого венца 6 сателлита определится как

$$\omega_6 = \frac{\upsilon_A}{R_6} = \frac{\omega_1 h}{R_6} =$$

$$= \omega_1 \frac{R_7 - R_6}{R_6} = \omega_1 \frac{Z_7 - Z_6}{Z_6}. \qquad (2)$$

Предположим, что на водиле жестко закреплена цилиндрическая деталь с радиусом R, а венец 6 может вращаться относительно этой детали. Относительную угловую скорость этого вращения определим через разницу линейных скоростей, перенеся их в точку B (рис. 2, а):

$$\omega_{r1} = \frac{\upsilon_{r1}}{R} = \frac{\upsilon_{B6} - \upsilon_{B2}}{R} =$$

$$= \frac{\frac{\upsilon_A}{R_6}\left(R_6 + R\right) - \frac{\upsilon_A}{h}\left(h - R\right)}{R} = \omega_1 \frac{Z_7}{Z_6}, \qquad (3)$$

где υ_{B6} и υ_{B2} – скорости, сообщаемые точке B (условной границе контакта двух цилиндрических поверхностей) со стороны зубчатого венца 6 и водила 2.

В самом сателлите осуществляется редукция (или мультипликация) скорости, т. к. одно звено ППТК связано с водилом и по отношению к другим звеньям остановлено. Другое звено соединено с зубчатым венцом 6. Оно осуществляет вращение в относитель-

ном движении и является ведущим в данном механизме, встроенном в сателит. Третье звено является для этого узла ведомым и связано с зубчатым венцом второй ступени 13 (рис. 2, б). Его угловая скорость в относительном движении (относительно звена 2) будет уменьшена в передаточное отношение ППТК: $\omega_{r2} = \omega_{r1}/i_p$, где i_p – передаточное отношение ППТК.

Угловая скорость колеса 14, связанного с ведомым валом всего механизма, определится как

$$\omega_{14} = \omega_{15} = \frac{\upsilon_C}{R_{14}} = \frac{\upsilon_{C2} - \upsilon_{r2C}}{R_{14}} = \frac{\omega_1 (h + R_{13}) - \omega_{r2} R_{13}}{R_{14}}, \qquad (4)$$

где ω_{15} – угловая скорость ведомого вала механизма; υ_C – абсолютная скорость точки C; υ_{C2} и υ_{r2C} – переносная и относительная скорости, передаваемые в точку C посредством вращения водила 2 и вращения относительно сателлита соответственно; R_{13} и R_{14} – радиусы зубчатых колес 13 и 14 соответственно.

В предлагаемой комбинированной передаче передаточное отношение будет рассчитываться по формуле $i = \omega_1/\omega_{15}$. После подстановок в данное выражение формул (1)…(4) и преобразований окончательно получим [7]

$$i = \frac{1}{1 - \frac{Z_7 Z_{13}}{i_p Z_6 Z_{14}}}. \qquad (5)$$

Передаточное число ППТК i_p определяется в зависимости от применяемой кинематической схемы. На рис. 1 показана встроенная ППТК, работающая согласно шестой кинематической схеме [8], в которой внутренний кулачок 3 остановлен в относительном движении (относительно водила 2), наружный кулачок 5 является ведущим звеном, а сепаратор 9 – ведомым звеном. При этом [8] $i_{\text{р}} = \frac{Z_5 + Z_3}{Z_5}$, где Z_3 – число периодов беговой дорожки внутреннего кулачка 3; Z_5 – число периодов (выступов) профильной торцовой поверхности 11 наружного кулачка 5.

Передаточное отношение планетарной зубчатой передачи-прототипа с цельным двухвенцовым сателлитом рассчитывается по формуле [5, с. 216, схема 4]

$$i_z = \frac{1}{1 - \frac{Z_7 Z_{13}}{Z_6 Z_{14}}}.$$

При $Z_6 = 35$, $Z_7 = 48$, $Z_{13} = 19$, $Z_{14} = 32$ и при отсутствии встроенной в двухвенцовый сателлит ППТК передаточное отношение i_z составило бы 5,385. В предлагаемой комбинированной передаче с вышеуказанными параметрами и с параметрами ППТК $Z_3 = 1$, $Z_5 = 4$ передаточное отношение $i = 2{,}7$ согласно формуле (5) при $i_p = 1{,}25$. Данный результат был подтвержден при помощи моделирования в системе Siemens NX. На рис. 3, а показана параметрическая модель механизма с шариковой передачей с синусоидальными беговыми дорожками, а на рис. 3, б – зависимость частот вращения ведущего и ведомого валов редуктора, полученная при симуляции движения механизма в модуле Motion simulation системы NX. Построение компьютерных моделей по чертежам автора и симуляцию движения осуществлял студент Белорусско-Российского университета Д. В. Непша.

Совершенствование конструкции передачи

Как показали расчеты, шестая кинематическая схема ППТК не удовлетворяет условиям повышения кинематических возможностей комбинированной планетарной передачи. На основании анализа формулы (5) была получена графическая зависимость пере-

даточных отношений встроенного механизма и всей передачи (рис. 4). Из нее видно, что для получения больших значений передаточных отношений всего механизма i необходимо, чтобы передаточное отношение встраиваемой ППТК лежало в диапазоне $i_p = 0{,}7\ldots0{,}8$ (рис. 4, линия 1). Данный диапазон получен при конкретных значениях чисел зубьев венцов сателлитов, указанных выше. При уменьшении разницы чисел зубьев венцов сателлитов до восьми для каждого из зацеплений ($Z_6 = 40$, $Z_7 = 48$, $Z_{13} = 24$, $Z_{14} = 32$) вышеуказанный диапазон сужается (рис. 4, линия 2) и смещается ближе к значению $i_p = 1{,}0$, однако в данном диапазоне можно получить большие значения передаточных отношений. Габариты передачи при этом остаются прежними.

а) б)

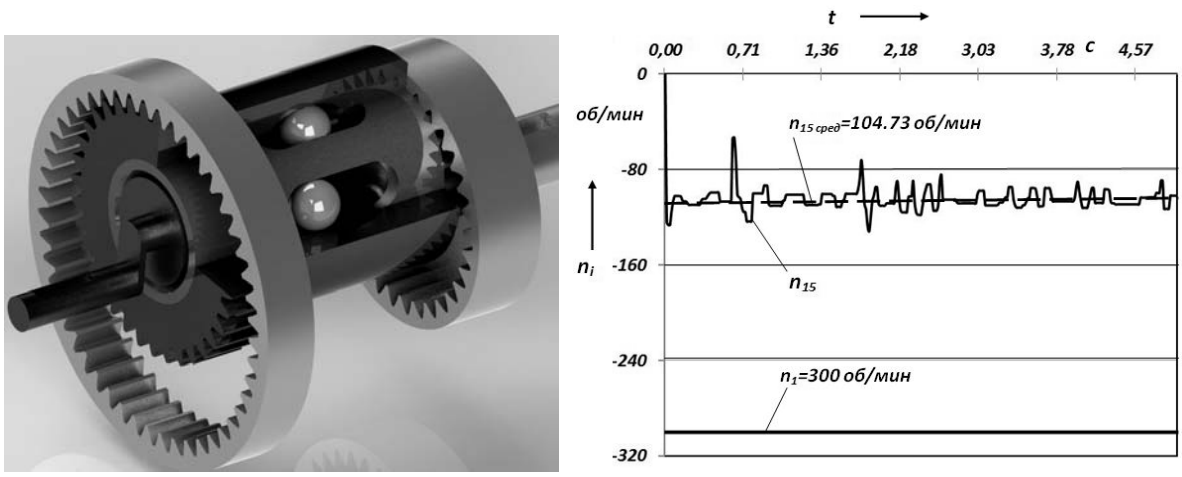


Рис. 3. Компьютерная модель передачи (а) и результаты исследований ее кинематических параметров (б)

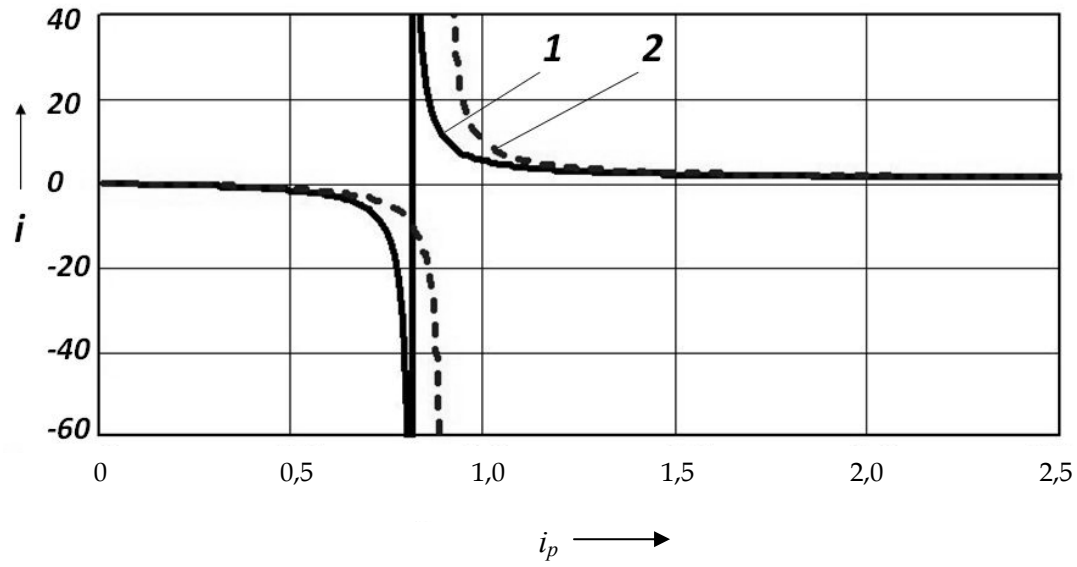


Рис. 4. Зависимость передаточного отношения комбинированной передачи от передаточного отношения ППТК

После анализа шести кинематических схем ППТК была разработана конструкция комбинированной планетарной передачи со встроенной в сателлит ППТК, работающей по четвертой кинематической схеме (рис. 5). Обозначение звеньев принято такое же, как и на рис. 1, за некоторым исключением. Рассмотрим усовершенствованную конструкцию комбинированной передачи. Была изменена структура механизма, а именно: сепаратор стал промежуточным звеном, а наружный кулачок вместо кулачковых поверхностей (см. рис. 1) контактирует с телами качения посредством замкнутой периодической беговой дорожки 11 (см. рис. 5). Это повышает нагрузочную способность передачи в 2 раза, т. к. осуществляется двухсторонний контакт наружного кулачка и тел качения, отсутствуют их холостые пробеги. Сами тела качения 4 выполнены в виде ступенчатых роликов. Ролик представляет собой стержень-основание, на котором размещены с возможностью относительного вращения две цилиндрические втулки [9] или втулки с полусферической поверхностью [10]. С соответствующим профилем должны изготавливаться беговые дорожки 10 и 11. Фрагментация ролика позволяет осуществлять качение по всем контактирующим поверхностям и повысить КПД зацепления, снизив потери на скольжение. Сепаратор 9 имеет сквозные пазы 12 для размещения и перемещения тел качения.

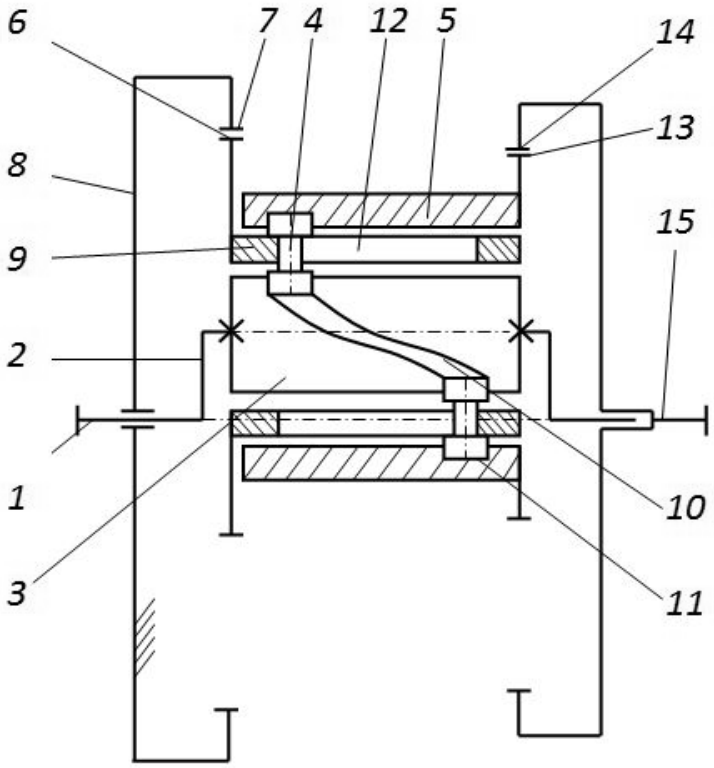


Рис. 5. Схема комбинированной передачи со встроенной роликовой ППТК

Заторможенным в относительном движении снова является внутренний кулачок 3, жестко соединенный с водилом 2. Сепаратор 9 соединяется с зубчатым венцом 6, а наружный кулачок 5 – с зубчатым венцом 13. Передаточное отношение данной ППТК, встроенной в двухвенцовый сателлит, определится по формуле [8] $i_p = Z_5 / (Z_3 + Z_5)$. Рассматривая уже использованные выше

значения $Z_3 = 1$ и $Z_5 = 4$, получим $i_p = 0{,}8$. В этом случае при числах зубьев венцов сателлита и центральных колес $Z_6 = 35$, $Z_7 = 48$, $Z_{13} = 19$, $Z_{14} = 32$ общее передаточное отношение i также определится по формуле (5) и составит $i = -56$. При отсутствии встроенной в двухвенцовый сателлит ППТК передаточное отношение, как уже отмечалось, составило бы 5,385. В предлагаемой комбинированной передаче оно равно –56, что свидетельствует о значительном расширении кинематических возможностей редуктора. Для сравнения: при $Z_6 = 40$, $Z_7 = 48$, $Z_{13} = 24$, $Z_{14} = 32$ и $i_p = 0{,}8$ получим значение $i = -8$. Если при этом использовать 7-периодную беговую дорожку на наружном кулачке $Z_5 = 7$, $Z_3 = 1$, $i_p = 0{,}889$, получим $i = -80$.

Отдельно рассмотрим вопрос потерь мощности в зацеплениях. В комбинированной передаче КПД в зубчатых зацеплениях выше 0,98, т. к. передаточное отношение невелико (в рассматриваемых примерах разница в числах зубьев у зубчатых венцов с соответствующими центральными колесами больше 7), скольжение также не будет большим. Теоретический КПД ППТК составит около 0,85…0,90, т. к. четвертая кинематическая схема, наряду с шестой, обеспечивает наименьшие потери мощности [8]. Общий теоретический КПД предлагаемой комбинированной передачи можно определить как произведение КПД трех последовательно работающих зацеплений, внутреннего зубчатого, зацепления посредством промежуточных тел качения и снова внутреннего зубчатого. Численное значение КПД комбинированной планетарной передачи при этом составит около 0,85. При попытке реализовать такое же передаточное отношение, модуль которого равен 56 в передаче-прототипе (зубчатой передаче с двухвенцовым сателлитом), КПД составил бы 0,78, согласно данным [5, с. 216, табл. 10.16], что ниже теоретического КПД предлагаемой передачи.

Выводы

Предложены конструкции механизмов, объединяющих механические передачи разных типов в одной структуре, и определены основные принципы их проектирования. Преимуществами разработанных конструкций комбинированной планетарной передачи являются соосность, малогабаритность и относительно высокий КПД. Всего возможно реализовать шесть различных кинематических схем, поочередно соединяя с водилом, т. е. тормозя в относительном движении, одно из трех основных звеньев ППТК. Другое основное звено становится при соединении с зубчатым венцом ведущим, а третье основное звено является ведомым и соединяется со вторым зубчатым венцом сателлита. Передаточное отношение всего механизма (комбинированной передачи) будет определяться по формуле (5), а передаточное отношение i_p – по формулам, приведенным в [8, табл. 4.1]. Перспективы исследований комбинированных передач связаны с установлением совместного влияния чисел зубьев венцов сателлита, чисел зубьев центральных колес и чисел периодов беговых дорожек ППТК на кинематику всего механизма. Разработка несоосных передач может расширить его кинематические возможности. Несмотря на то, что ППТК полностью уравновешена на фундаменте, при использовании односателлитной передачи необходимо решать вопрос динамического уравновешивания всей передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лустенков, М. Е.** Планетарные шариковые передачи цилиндрического типа : монография / М. Е. Лустенков, Д. М. Макаревич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – 123 с. : ил.

2. **Игнатищев, Р. М.** Синусошариковые редукторы / Р. М. Игнатищев. – Минск : Выш. шк., 1983. – 107 с. : ил.

3. **Bara, M.** Designing Aspects Of Cylindrical Transmission / M. Bara // ASME Conf. Proc. 5–10 Nov. 2006. – Chicago, Illinois, 2006. – P. 75–81.

4. **Terada, H.** Motion Analysis of a Reciprocating Motion Type Ball Reducer / H. Terada, T. Masuda, S. Yoshida / Proc. 12th IFToMM World Congress. – Besançon (France), June 18–21, 2007. – P. 414–418.

5. **Решетов, Д. Н.** Детали машин : учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д. Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с. : ил.

6. Планетарная зубчато-шариковая передача : пат. 14130 C 1 BY Респ. Беларусь, МПК (2009) F 16 H 25 / 00 / М. Е. Лустенков ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № a 20090479 ; заявл. 02.04.09 ; опубл. 28.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011.

7. **Лустенков, М. Е.** Зубчато-шариковые передачи / М. Е. Лустенков, Л. Л. Сморгович, И. Ю. Хадкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-тех. конф. : Белорус.-Росс. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Росс. ун-т, 2010. – Ч. 1. – С. 118.

8. **Лустенков, М. Е.** Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности : монография / М. Е. Лустенков. – Могилев : Белорус.- Рос. ун-т, 2010. – 274 с.

9. Совершенствование конструкции передач с промежуточными телами качения / И. С. Сазонов [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 74–83.

10. **Прудников, А. П.** Кинематический анализ планетарных передач с составными роликовыми сателлитами / А. П. Прудников, М. Е. Лустенков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 90–97.

Статья сдана в редакцию 22 января 2013 года

Михаил Евгеньевич Лустенков, канд. техн. наук, доц. Белорусско-Российский университет. Тел. +375-222-25-36-71.

Mikhail Yevgenyevich Lustenkov, PhD, Associate Proffesor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-25-36-71.

УДК 621.787

А. П. Минаков, М. Е. Лустенков, Е. В. Ильюшина, К. А. Бычинский

НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕМОНТА ГИЛЬЗ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТОНКИМ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

UDC 621.787

A. P. Minakov, M. Y. Lustenkov, E. V. Ilyushina, K. A. Bychinsky

A NEW EFFECTIVE METHOD FOR REPAIRING CYLINDER SLEEVES OF DIESEL ENGINES BY USING FINE SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Аннотация

Рассмотрена одна из актуальных проблем в ремонтном производстве, связанная с современным технологическим обеспечением для получения принципиально нового качества рабочей поверхности гильзы на основе применения финишной операции упрочняющей пневмоцентробежной обработки (ПЦО) вместо плосковершинного хонингования. Использование ПЦО позволяет уменьшить относительный расход масла на угар, расход топлива, повысить ресурс работы дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Ключевые слова:

хонингование, пневмоцентробежная обработка, микро- и макрогеометрия гильз блока цилиндров ДВС, относительный расход масла на угар, расход топлива, толщина масляной пленки в парах трения.

Abstract

The paper considers one of the pressing problems of repair production associated with modern technological support for obtaining a fundamentally new quality of the working surface of the cylinder sleeve by using strengthening pneumatic centrifugal treatment as a finishing operation instead of plateau honing, which reduces relative waste of oil and fuel consumption, and increases service life of the diesel internal combustion engine (ICE).

Key words:

honing, pneumatic centrifugal treatment, micro- and macrogeometry of sleeves of the cylinder block of the internal combustion engine, relative waste of oil, fuel consumption, thickness of oil film in friction pairs.

Необходимость выполнения ремонтных работ машин определяется экономической эффективностью (табл. 1). Наибольшую трудоемкость составляет ремонт двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [1].

Одним из основных критериев оценки экономичности ДВС является относительный расход масла на угар, который определяется согласно ГОСТ 18509-88 по формуле [2]

$$g_{м.уг.} = \frac{\Delta G_{м.уг.}}{G'_т} \cdot 10^2, \qquad (1)$$

где $\Delta G_{м.уг.}$ – изменение массы масла в двигателе за время угарного цикла, кг; $G'_т$ – расход топлива за время измерения масла на угар, кг.

По нормативам ГОСТ 18523-79 в ремонтном производстве относительный расход масла на угар в зоне цилиндропоршневой группы (ЦПГ) дизельно-

© Минаков А. П., Лустенков М. Е., Ильюшина Е. В., Бычинский К. А., 2013

го ДВС не должен превышать $g_{м.уг.}$ = 0,8…0,9 % в зависимости от объема цилиндров для конкретной модели [3]. Усредненный показатель этого параметра в действующем ремонтном производстве составляет $g_{м.уг.}$ = 0,5…0,6 %. Это позволяет судить о необходимости дальнейшего совершенствования технологии ремонта гильз блока цилиндров.

Табл. 1. Расход ресурсов и затраты при производстве и капитальном ремонте машин

Ресурсы, затраты на одну машину	Производство	Капитальный ремонт
Металл, т	6,0…9,0	1,5…2,7
Электроэнергия, тыс. кВт·ч	4,0…5,5	1,2…2,2
Затраты труда, чел.-ч	75…240	135…620
Основные фонды, тыс. р. (РФ) на одну машину	3,0…6,0	0,6…1,2

Одним из путей решения этой актуальной проблемы является технологическое обеспечение улучшенного качества изготовления гильз для достижения $g_{м.уг.}$ < 0,5 %. При этом крайне важно решить проблему уменьшения расхода топлива, повышения износостойкости деталей ЦПГ двигателя, а в целом повышения ресурса работы и надежности дизеля.

Известно, что то или иное технологическое обеспечение качества поверхности детали существенным образом влияет на ее эксплуатационные свойства, в свою очередь, зависящие от микро- и макрорельефа поверхности.

Микрорельеф поверхности классифицируют [4] по двум признакам: геометрической структуре и характеру профиля.

На рис. 1 показаны характер корреляционной функции $\rho(\tau)$ и плотность вероятностей распределения ординат профиля $f(h)$, характеризующих закономерности изменения шероховатости по длине и высоте.

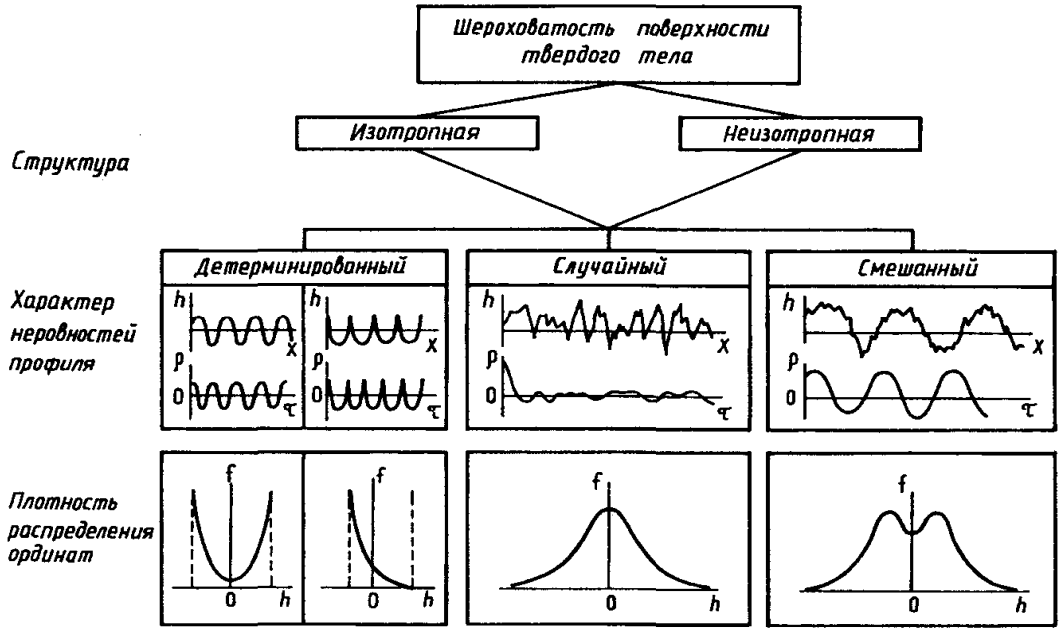


Рис. 1. Классификация шероховатых поверхностей

Для изотропной поверхности характерна одинаковая шероховатость по всем направлениям (например, поверхность, полученная виброобкатыванием с регулярным микрорельефом), для неизотропной, в отличие от изотропной, – четкая направленность следов обработки. Это поверхности, полученные фрезерованием, точением, протягиванием. Вместе с тем, поверхности, одинаковые по структуре, могут иметь различный характер неровностей, что видно из профилограмм микрорельефов (см. рис. 1).

Профиль может быть детерминированным, случайным и смешанным в зависимости от характера неровностей. Для детерминированного профиля характерно периодическое сочетание неровностей, практически мало отличающихся друг от друга. Такой профиль описывается периодической функцией (например, поверхность, полученная точением, виброобкатыванием). Корреляционная функция такого профиля сходна с самим профилем. Плотность распределения ординат зависит от формы профиля. Так, для симметричного профиля она симметрична, для несимметричного – несимметрична (см. рис. 1).

Случайные профили, представляющие вторую группу, характеризуются нерегулярным расположением микронеровностей по высоте и нерегулярным их очертанием. Корреляционная функция случайного профиля быстро убывает, что характерно, например, для гидроабразивной обработки поверхности, доводки поверхности свободным абразивом, пневмовибродинамической обработки (ПВДО) и т. д. (см. рис. 1). Плотность распределения ординат шероховатости для профиля со случайным характером близка к нормальной.

Группа смешанных профилей образуется при совместном взаимодействии детерминированных и случайных и занимает промежуточное положение между первой и второй группой профилей. Смешанные профили разнообразны по форме, их характер зависит от способа суммирования отдельных составляющих. Корреляционная функция такого профиля в основном имеет незатухающие колебания. Плотность распределения ординат имеет два максимума и более.

Известно, что, наряду с характеристикой шероховатости рабочей поверхности, влияющей на повышение надежности деталей машин с лезвийной и абразивной обработкой, большое значение имеют способы поверхностно-пластического деформирования (ППД).

Этому посвящены работы [5–7], общей тенденцией которых в большинстве случаев является использование ППД, обеспечивающего эффект упрочнения рабочей поверхности для получения ее высоких эксплуатационных свойств.

В отечественном ремонтном производстве наибольшее распространение получил способ ремонта гильз ДВС растачиванием с последующим хонингованием под ремонтный размер либо только хонингованием (предварительное и окончательное – плосковершинное) [8]. Однако использование плосковершинного хонингования зеркала гильзы ДВС не позволяет решить проблему уменьшения выброса вредных веществ в зоне работы ЦПГ.

Ввиду отсутствия работ с применением способов ППД для уменьшения угара масла в ДВС в ремонтном производстве особый интерес представляют технологии Ю. Г. Шнейдера, внедренные в СССР на Ярославском моторном заводе в серийное производство [6].

В [6] значительное место уделено исследованию возможности повышения износостойкости деталей ЦПГ за счет вибронакатывания на рабочей поверхности гильзы ДВС микрорельефов различного вида. В табл. 2 представлены режимы обработки и результаты стендовых испытаний вибронакатанных гильз.

Для определения эпюр износа гильз, обработанных хонингованием и вибронакатанных, были изготовлены

модельные образцы гильз тракторного двигателя из серого перлитного чугуна. Твердость поверхности гильзы составила 40 HRC на глубине не менее 1,5 мкм.

Табл. 2. Режимы обработки и результаты испытаний различных двигателей с вибронакатанными гильзами из различных металлов [6]

Марка двигателя	Гильза цилиндра		Режим вибронакатывания					
	D, мм	Материал	$n_з$, рад/с	s, мм/об	l, мм	$d_ш$, мм	P, Н	$n_{дв.х}$, 1/мин
ЯМЗ-236	130	Хромо-кремнистый сплав	119,38	1,56	1	4	343	1400
ЗИЛ-130	100		119,38	1,74	1	4	343	1400
ГАЗ-21	92		119,38	1,56	1	4	343	1400
М-412	82	Серый чугун	238,75	3	1,38	7,94	392	1400
ЗИЛ-130	100	Серый чугун	191,0	2,08	1	4	343	1400
Д-60К	100	Чугун СЧ21	393,03	5,28	1	3,15	687	2800
Марка двигателя	Глубина канавки, мм	Шаг волны канавки, мм	Площадь, занимаемая канавками, %		Объем канавок, $мм^3$	Эффект применения вибронакатывания		
ЯМЗ-236	0,0129	3,58	37,6		0,003062	Устранение задиров, натиров, схватывания		
ЗИЛ-130	0,008	2,73	34,8		0,001858			
ГАЗ-21	0,0095	2,565	39,7		0,002398			
М-412	0,0055	4,604	44,8		0,001600	Увеличение износостойкости в 1,5…1,7 раза		
ЗИЛ-130	0,020	4,43	35,6		0,004734	Увеличение износостойкости в 1,4…1,6 раза		
Д-60К	0,020	4,43	32,7		0,004734	Увеличение износостойкости в 1,5…1,8 раза		

Износ гильз и колец определяется методом искусственных баз (вырезания лунок) прибором УПОИ-6 [6]. Лунки вырезались в пяти поясах по восемь в каждой. Замер лунок производился через 10, 26, 36, 46 и 56 мото-ч наработки с начала испытания. Температура воды и масла составляла 80…85 ºС, нагрузка на двигатель – 118,5…148 Н при частоте коленчатого вала (1570 ± 10) $мин^{-1}$. Результаты испытаний по выявлению оптимального вида микроструктуры показаны на рис. 2.

Из эпюр следует, что износ по всем поясам в различных точках по окружности достаточно неравномерен, однако он во всех случаях в результате вибронакатывания заметно снижается. Создание системы канавок любого вида значительно снижает износ хонингованной поверхности, имевшей шероховатость Ra = 0,16 мкм.

Если принять за 100 % износ гильз, прошедших в качестве окончательной операции хонингование, то износ вибронакатанных гильз составил соответственно для систем канавок с микрорельефами видов: III – 49,91 %, II – 45,78 %, I – 24,08 %.

Применение вибронакатывания оказалось эффективным по увеличению износостойкости гильз, а также для предотвращения появления натиров и задиров на поверхности юбки поршня и шатунных втулок двигателей [6].

Однако, несмотря на ряд преимуществ, рассмотренный способ вибронакатывания не нашел применения ввиду необходимости создания специального оборудования, сложности оснастки, необходимости ввода в техпроцесс дополнительной технологической операции для снятия наплывов в канавках [6]. Это позволило бы обеспечить, как показали ис-

следования авторов, относительный расход масла на угар в размере 0,4…0,5 %.

Следует отметить, что масляная экономичность ДВС определяется также толщиной масляной пленки (рис. 3) [9].

На износ пары трения цилиндр–поршневое кольцо оказывают влияние большое количество разнообразных факторов [10], при этом определить наиболее важные из них затруднительно.

По мнению авторов, проблемы, рассматриваемые в статье, решает предлагаемый ниже способ финишной обработки (ремонта) гильз блока цилиндров.

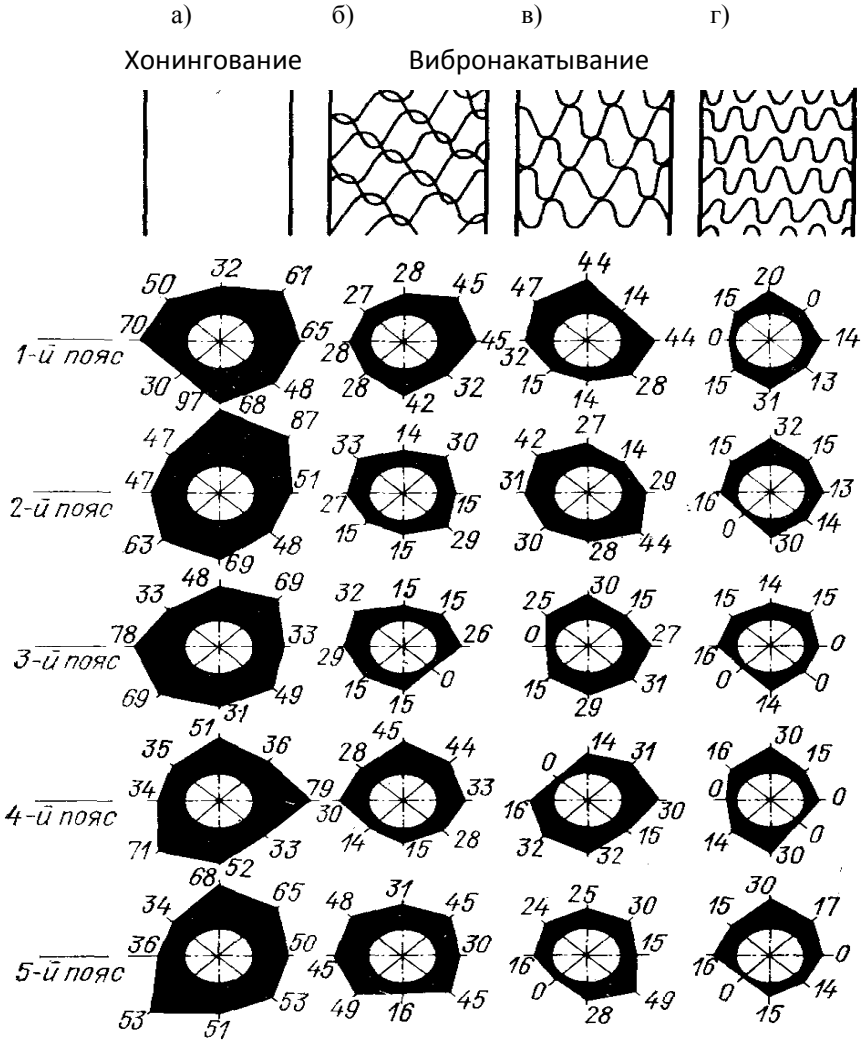


Рис. 2. Эпюры износа гильз, обработанных хонингованием (а) и вибронакатыванием с микрорельефами видов III (б), II (в) и I (г)

Сущность способа состоит в том, что в технологическом процессе восстановления зеркала гильзы вместо применяемого плосковершинного хонингования производят тонкое пластическое деформирование стальными шарами посредством упрочняющей пневмоцентробежной обработки (ПЦО).

Особенность процесса ПЦО состоит в том, что стальные шары (инденторы) воздействуют на обрабатываемую поверхность под действием струй сжатого воздуха, находясь в кольцевом вихревом потоке и совершая свободные виброколебания при их круговом вращательном перемещении относительно

продольной оси заготовки [11, 12].

Благодаря виброколебаниям каждого из шаров сила, необходимая для ППД микрогребешка, существенно снижается [11] в отличие от процесса накатывания жестким шариковым или роликовым инструментом [6, 13].

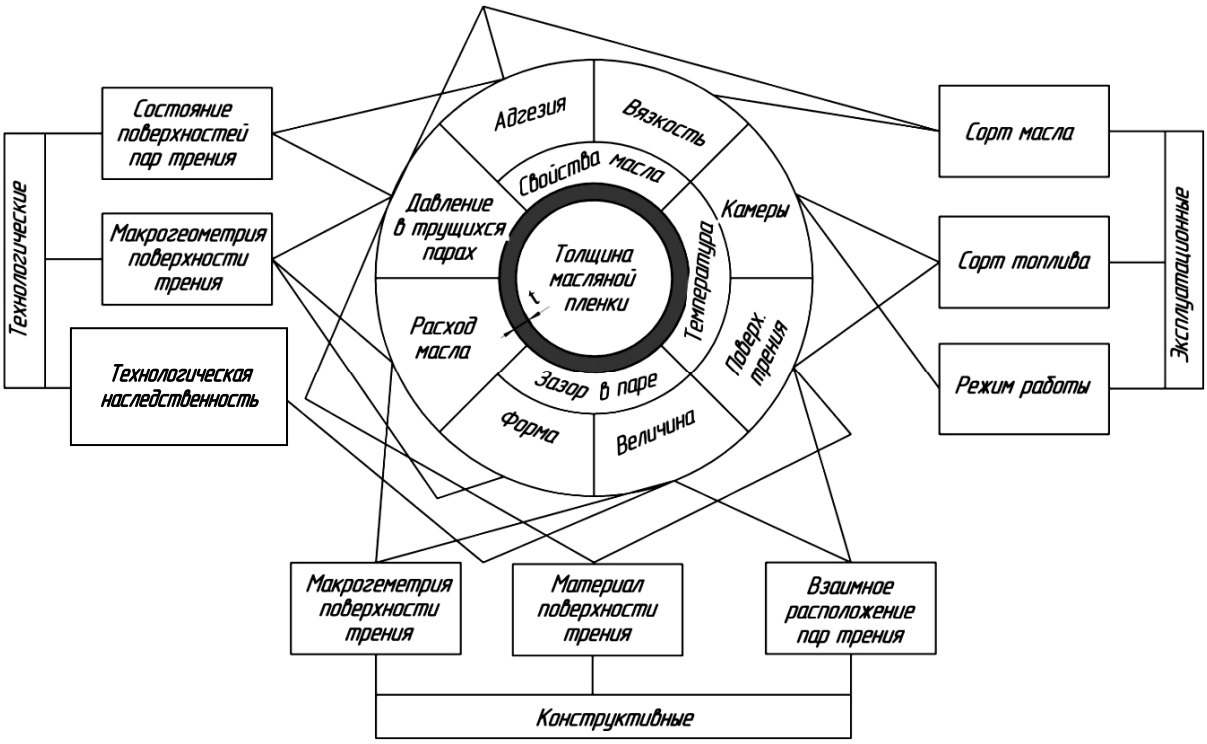


Рис. 3. Влияние различных факторов на толщину масляной пленки

При этом происходит деформационное упрочнение поверхности на весьма малую величину (≤ 0,06 мм) (что очень важно для нормальных условий работы пары сухого и полусухого трения гильза–поршневое кольцо), создавая оптимальные (равновесные) условия шероховатости поверхности [14]. Более того, процесс становится предпочтительным для финишной обработки нежестких деталей, каковой является гильза ДВС, не ухудшается макрогеометрия гильзы, полученная на операции хонингования.

Упомянутый процесс упрочняющей ПЦО реализован инструментом, представленным на рис. 4.

Пневмоцентробежный накатник устанавливается в оправке соосно шпинделю радиально-сверлильного станка относительно оси неподвижной гильзы 7 в вертикальном положении, гильза крепится в специальном приспособлении.

Сжатый воздух от пневмосистемы подводится к центральному отверстию 6 инструмента и проходит сквозь тангенциально расположенные сопла 8, приводя во вращение деформирующие шары 9, свободно размещенные в камере расширения 10. При перемещении инструмента вдоль заготовки пластическое деформирование происходит под действием центробежной силы, развиваемой шарами. Однако движение шаров в инструменте не ограничивается только вращением. Имея шесть степеней свободы, шары совершают осциллирующее и радиальное перемещения по отношению к обрабатываемой по-

верхности гильзы в пределах осевого δ и радиального γ зазоров в камере расширения, а также вращаются вокруг собственной оси (рис. 5).

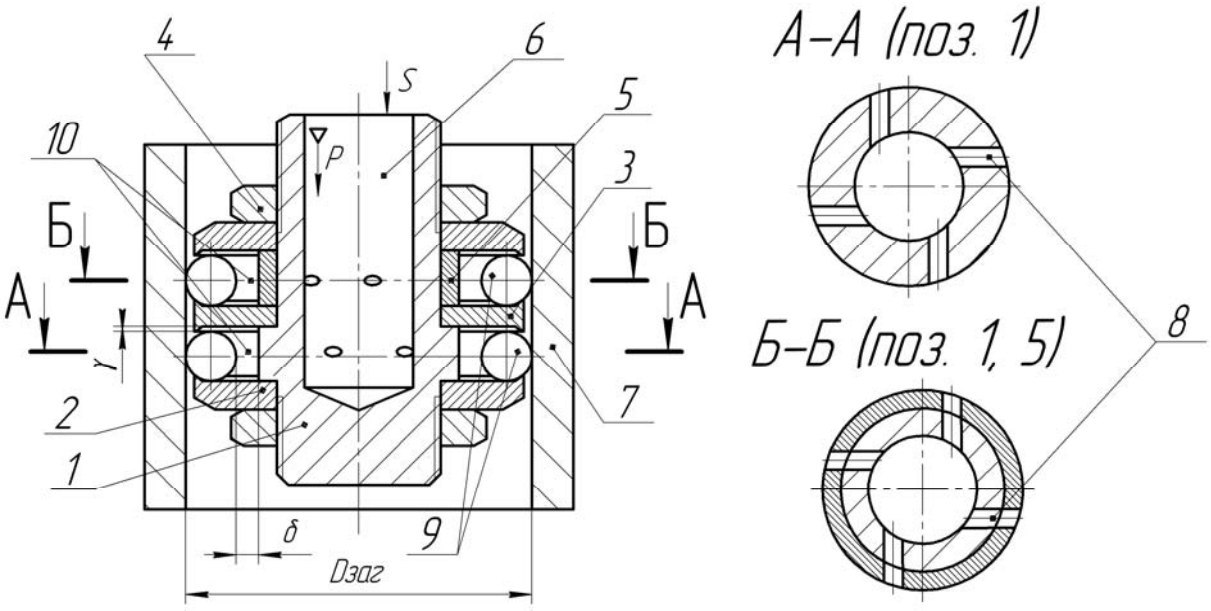


Рис. 4. Схема инструмента для упрочняющей ПЦО гильз ДВС: 1 – корпус; 2, 3 – диски; 4 – гайки; 5 – втулка; 6 – осевой канал; 7 – гильза блока цилиндров; 8 – тангенциальные сопла; 9 – шары; 10 – камера расширения

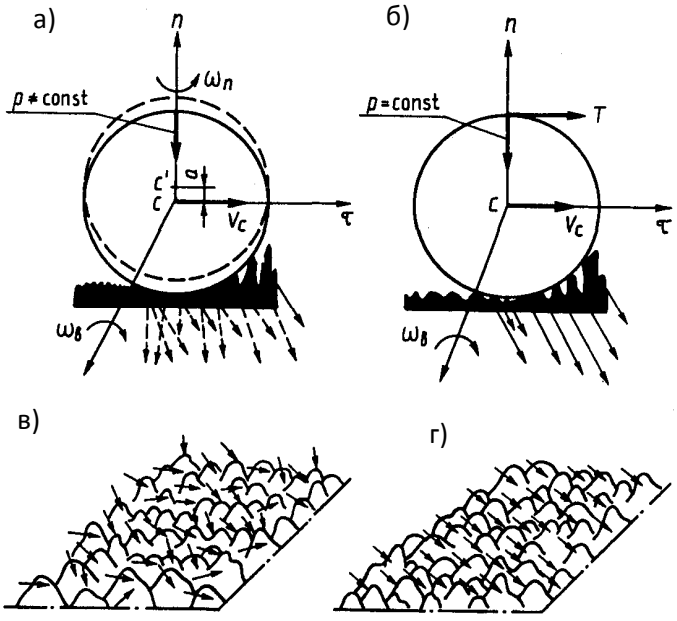


Рис. 5. Схема силового воздействия деформирующих элементов на исходный микрорельеф: а, в – пневмоцентробежная обработка; б, г – жесткое деформационное упрочнение

Механизм формирования микрорельефа приближается к вибронакатыванию с преобладающим направлением силы по нормали к обрабатываемой поверхности. Изменения траектории движения шаров по эллипсу способствуют

непрерывному периодическому изменению направления и усилия, что резко снижает силу, необходимую для ППД микрогребешков поверхности, и улучшает качество ее формирования. Установлено, что на процесс формирования микрорельефа и топографии поверхности существенное влияние оказывают процессы, происходящие в камере расширения инструмента.

Локальное кратковременное воздействие деформирующих шаров в режиме автоколебательного движения на микронеровности в различных направлениях, согласно дислокационной теории, способствует увеличению количества плоскостей скольжения в блоках в различных направлениях и уменьшению сопротивления развитию очагов деформации. В результате этого поверхность получается не разрыхленной, а цельной. Микротрещины как концентраторы напряжений, полученные на предшествующей операции (хонингование), будут «залечиваться» [11, 12].

Поверхность гильзы ДВС для последующей ПЦО должна быть сухой и чистой. Смазочно-охлаждающей средой является сжатый воздух. В процессе ПЦО поверхность гильзы, как и инструмент, не нагревается.

Ниже приводятся результаты первых предварительных поисковых исследований обработки гильз блока цилиндров мод. Д-245 упрочняющей ПЦО без плосковершинного хонингования (ПВХ).

Материал гильзы – специальный серый чугун. Твердость – 229…269 НВ. Номинальный диаметр – 110 мм, высота – 245 мм, толщина стенки – 7,25 мм, цилиндричность рабочей поверхности – не более 0,01 мм.

Рабочая поверхность гильзы по чертежу должна представлять собой сетку впадин глубиной 1,5…5 мкм, шириной 10…70 мкм, с площадками между ними с глубиной микронеровностей 0,1…1 мкм. Шероховатостью поверхности гильзы – 0,63…0,25 мкм. Базовая относительная опорная длина профиля должна составлять 60…85 %. Маслоемкость рабочей поверхности должна быть 0,008…0,041 мм^3/см^2. Впадины, образующие сетку хона, должны быть перекрещивающимися и наклонены к оси рабочей поверхности под углом 50…65°.

Технологическое оснащение процесса упрочняющей ПЦО: радиально-сверлильный станок мод. 2А55, двухрядный пневматический шариковый накатник центробежного действия, оригинальное приспособление для базирования гильзы по центрирующему пояску ($\varnothing\ 126f7^{-0,043}_{-0,083}$ мм) и по нижнему торцу ее буртика (наружный диаметр $\varnothing\ 133d11^{-0,145}_{-0,395}$ мм). Предусмотрено устройство для установки в шпиндель станка, позволяющее соединять пневмосистему с инструментом и исключать его вращение.

В качестве заготовок использовались гильзы после операции получистового хонингования с шероховатостью поверхности Ra = 1,12…1,33 мкм.

Режимы процесса упрочняющей ПЦО гильз, определенные в результате поисковых исследований: давление сжатого воздуха на входе в осевую полость инструмента P = 0,25…0,35 МПа, минутная подача $s_{мин}$ = 100…150 мм/мин, количество ходов инструмента i = 1. Производительность процесса упрочняющей ПЦО соизмерима с производительностью плосковершинного хонингования.

Измерение шероховатости поверхности проводились на профилометре-профилографе мод. 252 завода «Калибр», а также на профилометре-профилографе «RTHTALYSURF 5M» фирмы «Тейлор Хопсон». Шероховатость поверхности гильз после упрочняющей ПЦО составила до Ra = 0,70 мкм, а относительная опорная длина профиля t_{p50} = 85 %, что соответствует техническим требованиям чертежа.

Определение маслоемкости осуществлялось с использованием графических построений на кривой Аббота со-

гласно стандарту DIN 4776 [15, 16]. Значения маслоёмкости составили для гильз: после ПВХ – Q = 0,269 мм^3/см^2; после упрочняющей ПЦО – Q = 0,0092…0,0150 мм^3/см^2.

Стендовые испытания проводились в соответствии с ГОСТ 18509-88 по 60-часовой программе [17]. В табл. 3 приведены результаты 60-часовых стендовых испытаний дизеля Д-245 с гильзами после ПВХ и после упрочняющей ПЦО. Принятые обозначения в табл. 3: $Q_г$ – расход картерных газов; $P_{к.г.}$ – давление картерных газов; n – частота вращения коленчатого вала; N_e – эффективная мощность; g_e – удельный расход топлива; $P_м$ – давление масла.

Табл. 3. Результаты стендовых 60-часовых испытаний дизелей Д-245, комплектовавшихся гильзами цилиндров, прошедшими ПВХ и упрочняющую ПЦО

Комплектация	$g_{м.уг.}$, %	$Q_г$, л/мин	$P_{к.г.}$, мм вод. ст.	n, мин$^{-1}$	N_e, кВт	g_e, г/кВт·ч	$P_м$, МПа
Дизель Д-245 ТУ 23.1.365-84	0,8 после ремонта	–	40 не более	2200^{+40}_{-25}	77^{+4}	220 + 3 % не более	0,343233 не более
Гильзы, прошедшие ПВХ	0,29	48	18	2200	80	222,5	0,254541
Гильзы, прошедшие ПЦО (комплект № 1)	0,60	55	22	2200	80	220,5	0,251541
Гильзы, прошедшие ПЦО (комплект № 2)	0,54	53	20	2200	80	221,6	0,251541

Представленные на испытания опытные гильзы цилиндров 245-1002021-А с проведенной упрочняющей ПЦО для получения зеркала цилиндра имеют расход масла на угар $g_{м.уг.}$ = 0,54...0,6 %, что меньше допустимого после капитального ремонта $g_{м.уг.}$ = 0,8 %. Расход топлива уменьшился до 1 % за счет снижения коэффициента трения в паре гильза–поршневое кольцо до величины $k \leq 0,1$ [5] по сравнению со штатной комплектацией дизеля Д-245 гильзами, прошедшими ПВХ (рис. 6).

Исследования, описанные выше, по совершенствованию технологии обработки гильзы, исключающие операцию плосковершинного хонингования, выполнены в основном производстве, однако они позволяют сделать вывод о возможности и необходимости использования в ремонтном производстве в качестве финишной операции обработки гильз упрочняющую ПЦО.

В настоящее время выполняются исследования по внедрению технологии упрочняющей ПЦО в ремонтное производство на Могилевском ремонтном заводе.

Выводы

1. Анализ данных о капитальном ремонте гильз ДВС показал, что использование ППД на окончательной операции обработки зеркала гильз было бы предпочтительнее, чем плосковершинное хонингование.

2. Создан способ восстановления зеркала гильзы, согласно которому вместо применяемого плосковершинного хонингования производят тонкое пластическое деформирование стальными шарами посредством упрочняющей ПЦО.

3. На основании исследований обработки зеркала гильз ДВС с использованием ресурсосберегающей технологии ПЦО в основном производстве созданы предпосылки для дальнейшей разработки, исследования и внедрения ее в ремонтное производство.

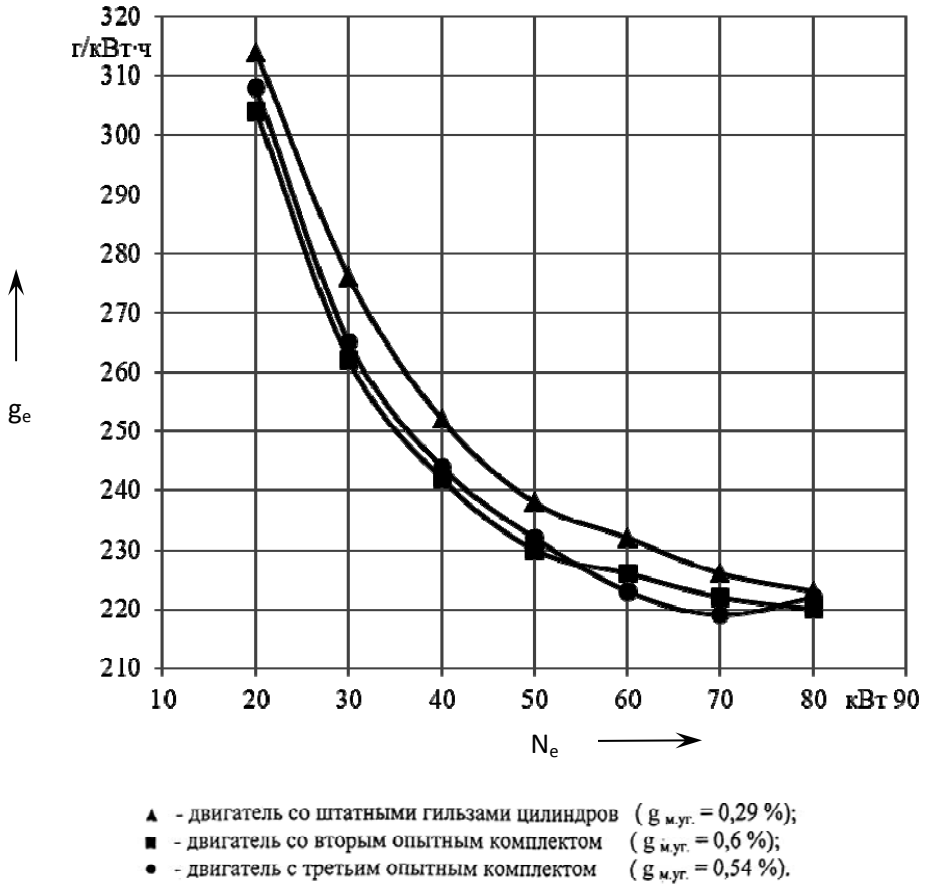


Рис. 6. Удельный расход топлива испытанных гильз после ПВХ и упрочняющей ПЦО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Долгополов, Б. П.** Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин : учебник / Б. П. Долгополов, Г. Н. Доценко, В. А. Зорин ; под общ. ред. В. А. Зорина. – М. : Академия, 2010. – 576 с.

2. **ГОСТ 18509-88.** Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.

3. **ГОСТ 18523-79.** Дизели тракторные и комбайновые. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта. Технические условия.– Введ. 08.08.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 16 с.

4. **Рудзит, Я. А.** Исследование нерегулярной шероховатости и процесса контактного взаимодействия поверхностей : дис. … д-ра техн. наук / Я. А. Рудзит. – Рига, 1981. – 516 с.

5. **Одинцов, Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

6. **Шнейдер, Ю. Г.** Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1982. – 246 с.

7. **Елизаветин, М. А.** Технологические способы повышения долговечности машин / М. А. Елизаветин, Э. А. Сатель. **–** М. : Машиностроение, 1969. **–** 400 с.

8. Практикум по ремонту машин : учеб. пособие / Е. А. Пучин [и др.] ; под ред. Е. А. Пучина. – М. : КолосС, 2009. – 327 с.

9. **Минаков, А. П.** Пневмовибродинамическая обработка – предпочтительный метод изготовления поверхностей пар трения и сопрягаемых поверхностей в неподвижных соединениях / А. П. Минаков, В. Н. Соколов, Н. С. Гарлачов // Вестн. машиностроения . – 2002. **–** № 8. – С. 39–44.

10. **Мишин, И. А.** Долговечность двигателей / И. А. Мишин. – Л. : Машиностроение, 1976. – 288 с.

11. **Минаков, А. П.** Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос ; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Навука і тэхніка, 1995. – 304 с.

12. **Ящерицын, П. И.** Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении / П. И. Ящерицын, А. П. Минаков. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.

13. **Кудрявцев, И. В.** Современное состояние и перспективы развития методов повышения прочности и долговечности деталей машин поверхностным пластическим деформированием / И. В. Кудрявцев // Вестн. машиностроения. – 2002. – № 8. – С. 39–44.

14. **Носихин, П. И.** Повышение качества и ускорение обкатки отремонтированных дизелей на основе современных достижений трибологии : автореф. … дис. д-ра техн. наук : 05.20.03 / П. И. Носихин ; МГАУ. – М., 1997. – 34 с.

15. **DIN 4776.** Rauheitsmessung ; Kenngroβen R_k, R_{pk}, R_{vk}, M_{r1}, M_{r2}, zur Beschreibung des Materialanteilsim Rauheitsprofil ; Meβbedingungen und Auswerteverfaren. – Berlin : Alleinverkuf der Normen-Verlag, 1990. – 30 c.

16. Аналитический обзор методик определения маслоемкости поверхности зеркала гильзы двигателя внутреннего сгорания / А. П. Минаков [и др.] // Вестн. машиностроения. – 1999. – № 10. – С. 14–16.

17. **ГОСТ 18509-88.** Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.

Статья сдана в редакцию 27 сентября 2012 года

Анатолий Петрович Минаков, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-24-18-15.
Михаил Евгеньевич Лустенков, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-36-71.
Елена Валерьевна Ильюшина, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0298-45-25-55.
Константин Александрович Бычинский, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Anatoly Petrovich Minakov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-24-18-15.
Mikhail Yevgenyevich Lustenkov, PhD (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-36-71.
Yelena Valeryevna Ilyushina, PhD (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0298-45-25-55.
Konstantin Aleksandrovich Bychinsky, post-graduate student, Belarusian-Russian University.

УДК 629.3

С. А. Рынкевич

ЭФФЕКТ ДРЕЙФА

UDC 629.3

S. A. Rynkevich

DRIFT EFFECT

Аннотация

В статье описан обнаруженный автором эффект дрейфа, т. е. явление регулярных колебаний (первой пульсации) давления рабочей жидкости при заполнении гидроцилиндра фрикциона гидромеханической передачи мобильной машины. Открытый эффект дрейфа позволил проводить оперативное диагностирование гидромеханической передачи по критерию амплитуды первой пульсации и времени ее начала. Для этих целей разработан метод анализа износа фрикционных дисков посредством специальных тестовых заездов в стандартных однозначных дорожных условиях, измерения длительности буксования при переключении передач и его сравнения с эталонным (предельно допустимым) значением. Данный метод внедрен и апробирован на предприятии ОАО БелАЗ. Он эффективно используется для оперативного диагностирования гидромеханических передач карьерных самосвалов, оценки ресурса и прогнозирования технического состояния фрикционов.

Ключевые слова:

гидромеханическая передача, диагностирование, эффект дрейфа, амплитуда пульсации, фрикцион, фрикционный диск, износ.

Abstract

The paper describes the drift effect discovered by the author; that is the phenomenon of regular oscillations (the first pulsation) of the pressure of working fluid when filling the hydraulic cylinder of the friction clutch of the hydromechanical transmission of a mobile machine. The discovery of the drift effect enabled performing the on-the-fly diagnostics of hydromechanical transmission with the amplitude of the first pulsation and the time it has started, taken as the criteria. For this purpose the method has been developed to analyze the wear of friction discs through special test drives in standard definite road conditions, to measure the duration of slippage during gear shifting and to compare it with the reference (maximum allowable) value. This method is introduced and tested at the OAO BelAZ company. It is used effectively for the rapid diagnostics of hydromechanical transmissions of quarry dump trucks, the assessment of friction clutches resource and forecasting of their technical condition.

Key words:

hydromechanical transmission, diagnostics, drift effect, pulsation amplitude, friction clutch, friction disk, wear.

Гидромеханические передачи (ГМП) современных автомобилей снабжены электронными системами автоматического управления и диагностирования. Электронный блок реализует программу алгоритма автоматического управления переключением передач и блокированием гидротрансформатора (ГДТ), а также производит диагностирование (объективный анализ текущего состояния и прогнозирование его эволюции) механизмов, осуществляющих управление ГМП. Потенциальные возможности электронного блока огромны, поэтому целесообразно с его помощью организовать оперативный сбор и обра-

© Рынкевич С. А., 2013

ботку информации о режимах работы механизмов и систем автомобиля.

При разработке нового подхода *комплексного определения технического состояния* ГМП мобильных машин в его основу автором положено объединение традиционной классической диагностики, инструментальных методов и новых методов сбора и представления информации, методов корреляционного и регрессионного анализа, нечеткой логики, нейросетевого моделирования и экспертных методов [1, 2]. Совокупность этих методов позволила создать высокоэффективную систему диагностирования, обеспечивающую оценку фактического технического состояния ГМП, определение остаточного ресурса, исключение выхода диагностических параметров за пределы допустимых значений и прогнозирование вероятности возникновения отказов и неисправностей. Разработанный подход, представляя собой основы методологии, включает следующие научно обоснованные положения:

– использование принципов системности и целостности в процессе определения технического состояния объекта диагностирования;

– обоснованный выбор диагностических параметров;

– анализ статистических оценок эксплуатационной надежности ГМП и упорядочивание эксплуатационной информации;

– всесторонний анализ физических свойств ГМП и получение описания поведения показателей работоспособности при изменении диагностических параметров;

– оценка работоспособности ГМП по определенным правилам с использованием расширенного комплекса критериев;

– идентификация технического состояния ГМП на основе интеллектуальных методов распознавания;

– оценка остаточного ресурса на основе методики трендового прогнозирования;

– синтез алгоритмов диагностирования ГМП и разработка программного обеспечения для последующей реализации этих алгоритмов в электронной системе.

Эффективность и качество процесса функционирования автоматической системы управления переключением передач зависит от согласованного управления включаемыми и выключаемыми фрикционами в соответствии с алгоритмом, параметры которого выбирают из условия обеспечения плавности движения автомобиля при переключении передач без рывков и значительных динамических нагрузок в трансмиссии. Для этого процесс переключения передач осуществляется без разрыва потока энергии при плавном нарастании момента трения включаемого фрикциона, величина которого и характеристика изменения во времени должны соответствовать передаваемой нагрузке при согласованном взаимодействии включаемого и выключаемого фрикционов [3]. При этом конструкция фрикционов была приспособлена для согласованной работы всех элементов системы управления переключением передач, что достигнуто соавторами выполненных работ – сотрудниками кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета совместно со специалистами ОГК ОАО БелАЗ (г. Жодино).

Построение адаптивной системы управления фрикционами основано на использовании электрогидравлических пропорциональных клапанов. Каждый фрикцион снабжен автономным пропорциональным клапаном, позволяющим управлять процессом изменения давления в его гидроцилиндре как при включении, так и при выключении фрикциона [3]. Это дает возможность обеспечить перекрытие моментов трения включаемого и выключаемого фрикционов и непрерывно передавать энергию двигателя к ведущим колесам машины. Пропорциональный клапан изменяет давление рабочей жидкости на

своем выходе в строгом соответствии с электрическим сигналом на его входе, формируемом электронным блоком управления. Управляющий сигнал формируется на основе информации, поступающей в контроллер от многочисленных датчиков, контролирующих параметры движения машины (скорость, ускорение), управляющие воздействия водителя, скоростные и нагрузочные режимы двигателя, условия работы механизмов ГМП, а также результаты управления. Таким образом обеспечивается управление по замкнутому контуру с обратной связью по управляемому параметру.

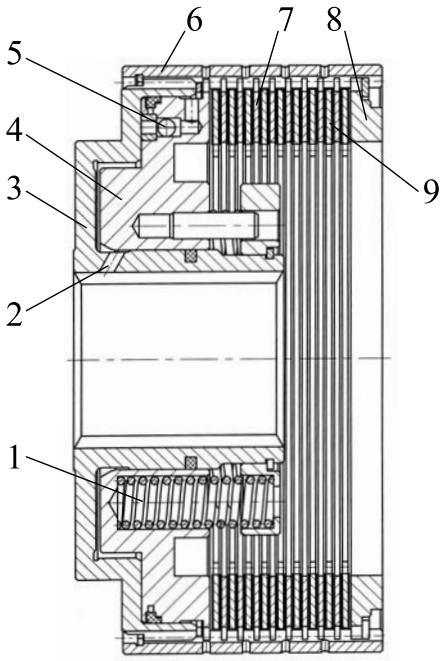
Для выполнения изложенных требований при разработке мехатронной системы управления ГМП сотрудниками кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета разработана новая конструкция фрикциона мобильной машины и электрогидравлический механизм пропорционального управления.

Конструкция фрикциона представлена на рис. 1. Фрикцион состоит из корпуса гидроцилиндра 3, поршня 4, зубчатого венца 6, комплекта фрикционных дисков 7 и 9, опорного диска 8, возвратных пружин 1. Корпус гидроцилиндра снабжен прямобочными шлицами, которыми он сопрягается с валом коробки передач. В корпусе выполнены отверстия 2 для подачи рабочей жидкости в полость гидроцилиндра. Зубчатый венец 6 закреплен на корпусе гидроцилиндра 3 при помощи эвольвентных шлицев. Поршень 4, ведущие диски 7 и опорный диск 8 снабжены шлицами, которыми они взаимодействуют с зубчатым венцом 6. На внутренней поверхности ведомых дисков 9 выполнены эвольвентные шлицы, посредством которых они связаны со ступицей, закрепленной на ведущей шестерне управляемой ступени коробки передач. Ведомые диски снабжены фрикционными накладками, выполненными из металлокерамики МК5. Для обеспечения надежного выключения фрикциона при большой скорости вращения, а также предотвращения преждевременного спекания дисков в поршне установлен шариковый клапан слива 5.

Однако фрикционы ГМП изначально являются самым «слабым звеном» конструкции, что в значительной мере лимитирует надежность и долговечность трансмиссии и всей машины в целом.

Задачей системы управления ГМП является формирование и реализация индивидуальных для каждого фрикциона характеристик изменения скорости буксования при включении и выключении, удовлетворяющих заданным критериям обеспечения высокого качества процесса и в то же время удерживающих в допустимых пределах параметры буксования фрикционных пар. Важная их особенность – жесткое ограничение времени буксования (как правило, не более 2…3 с), превышение которого способно привести к выходу фрикциона из строя. Таким образом, уже на уровне выполнения этих основных функций реализуется защита фрикциона от перегрузок. Сложность выполнения этой задачи обусловлена тем, что, как показывает многолетняя практика, максимальные динамические нагрузки во всей кинематической цепи моторно-трансмиссионной установки возникают именно при включении фрикционов (особенно в тяжелых ГМП), а при неуправляемом (в случае отказа аппаратных средств) включении эти нагрузки могут достигать разрушающих значений. Поэтому характеристики управления предварительно рассчитываются и экспериментально отрабатываются на стадии создания ГМП. В ранних гидравлических системах они реализовывались с помощью сложнейших механизмов плавности. Современные же электронные системы управления ГМП являются адаптивными, обеспечивающими непрерывное отслеживание изменений характеристик ДВС и элементов ГМП.

а)



б)

в)

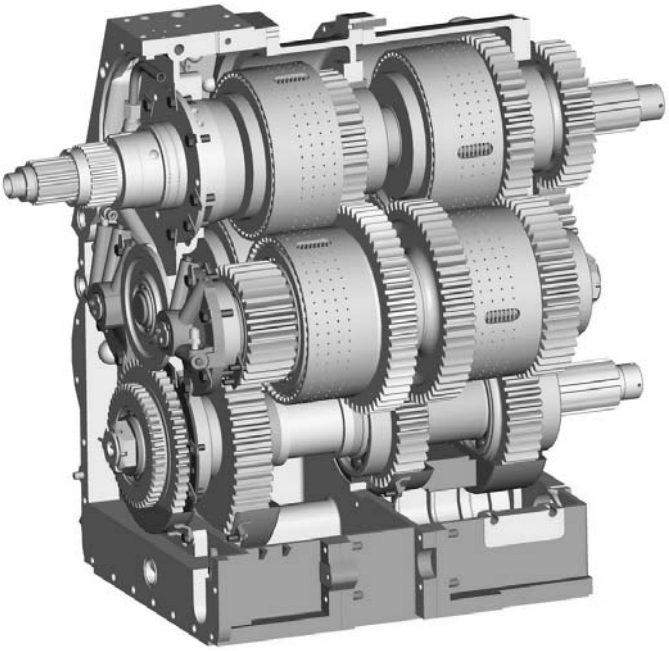


Рис. 1. Конструкция фрикциона ГМП с мехатронным управлением: а – конструкция фрикционов; б – расположение фрикционов в коробке передач карьерного самосвала БелАЗ-7555; в – разрушение дисков фрикциона вследствие чрезмерного износа

Применяются алгоритмы непрерывного управления скоростью буксования дисков. Известны также системы, в которых осуществляется контроль температуры буксующего пакета дисков и ограничивается число включений при приближении перегрева [4].

Однако все это не избавляет от проблем, связанных с необходимостью оперативного контроля износа ФД.

Анализ факторов, влияющих на ресурс фрикционов ГМП, позволяет прогнозировать срок службы дисков фрикционов и величину средней наработки на отказ. Использование бортовой электронной системы диагностирования дает возможность определять величины износа фрикционных дисков (ФД) при эксплуатации ГМП на основе разработанных автором алгоритмов, причем делать это *в режиме реального времени*.

Для этих целей предлагается два эффективных метода.

Первый – *метод хранения и использования* в памяти процессора цифровых эталонных файлов информации или математических описаний, регламентирующих предельно допустимые значения износа. Метод основан на использовании больших возможностей бортовой микроэлектроники.

Второй – *метод косвенного анализа* износа ФД на основе организации специальных *тестовых заездов* в стандартных однозначных дорожных условиях с целью измерения времени буксования ФД при переключении передач и его сравнения с эталонным (предельно допустимым) значением.

Данный метод основан на обнаруженном автором ***эффекте дрейфа,*** т. е. на явлении регулярных колебаний (первой пульсации) давления рабочей жидкости при заполнении гидроцилиндра фрикциона при использовании принципа пропорционального управления с обратной связью по относительной скорости скольжения фрикционных дисков. Это явилось предпосылкой для проведения оперативного диагностирования ГМП по критерию амплитуды первой пульсации и времени ее начала.

Предложенный впервые метод анализа износа фрикционных дисков на *эффекте дрейфа* предусматривает организацию серии специальных тестовых заездов (гностических пробегов) в стандартных однозначных дорожных условиях на основе измерения длительности τ заполнения гидроцилиндра фрикциона по первой пульсации давления A_p при переключении передач и сравнения значения τ с эталонным (предельно допустимым) (рис. 2).

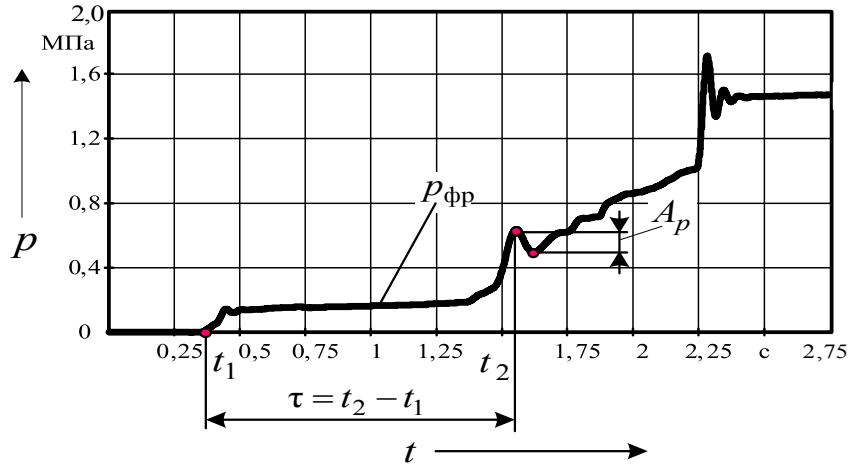


Рис. 2. Изменение давления во фрикционе включаемой передачи

Отсутствие необходимости в демонтаже ГМП обеспечивает существенное снижение затрат на ремонт и обслуживание ГМП и сокращает длительность простоев автосамосвалов на линии [5–7].

Однозначность условий диагностирования данным методом заключается в соблюдении следующих требований:

– температура рабочей жидкости прогретой ГМП должна быть в пределах плюс 60…90 ºС с отображением значения температуры рабочей жидкости на экране дисплея;

– уровни главного давления системы управления ГМП для выбранного режима, фиксируемые по показаниям датчика на экране дисплея при установившемся движении на определенных передачах, должны соответствовать определенным значениям частоты вращения вала двигателя (например, для 2-й, 3-й, 4-й и 5-й ступеней в ГМП БелАЗ-7555 при частоте вращения вала двигателя 1000 мин$^{-1}$ значение главного давления гидросистемы должно составлять 1,1 МПа);

– измерение значений времени τ осуществляется на прямолинейном горизонтальном участке дороги (величина продольного уклона равна 0) с усовершенствованным покрытием.

При этом рекомендуется проводить не менее 5 измерений (опытов).

На рис. 3 представлены фрагменты осциллограмм, полученных в режиме реального времени при гностических пробегах автосамосвала БелАЗ-7555 при наработках гидромеханической передачи 20000, 45000 и 70000 ч соответственно. В процессе каждого тестового заезда по приведенной выше методике производилась оценка износа фрикционных дисков третьей передачи как наиболее часто включаемой.

В каждом случае проводилось по пять опытов, о чем свидетельствуют точки на графиках, фиксирующие амплитуду первой пульсации давления A_p при включении третьей передачи (для удобства анализа приведено только по одной кривой для каждого случая). Кривые 1 и 2 соответствуют допустимым величинам износа фрикционных дисков, а кривая 3 – критической (предельно допустимой), что указывает на необходимость замены фрикционных дисков 3 передачи во избежание опасных отказов ГМП.

Для учета утечек через уплотнительные элементы (кольца) поршня фрикциона используется экспериментально полученная автором нелинейная зависимость расхода утечек $Q_{\text{у}}$ от числа $n_{\text{в}}$ включений фрикциона $Q_{\text{у}} = f(n_{\text{в}})$, приведенная на рис. 4 (см. также [1, с. 325]). Рис. 4 иллюстрирует зависимость утечек $Q_{\text{у.к}}$ из-под уплотнительного кольца и по шлицам от числа включений $n_{\text{в}}$ фрикциона. Как видно из графика, величина утечек с ростом износа кольца быстро прогрессирует.

При этом при определении величины износа учитывается дополнительное смещение поршня h, связанное с утечками, рассчитываемое по формуле

$$h = \frac{Q_{\text{у}} t_{\text{п}}}{A_{\text{п}}},$$

где $A_{\text{п}}$ – площадь поршня, м^2; $t_{\text{п}}$ – время его движения, с.

Авторский метод, основанный на *эффекте дрейфа*, внедрен и успешно апробирован на предприятии ОАО БелАЗ в 2010…2012 гг.

Метод эффективно используется для оперативного диагностирования ГМП карьерных самосвалов, оценки ресурса и прогнозирования трибологической непригодности фрикционов (в частности, при эксплуатации в ОАО «Гранит» (г. Микашевичи) карьерных самовалов БелАЗ, модернизированных бортовой системой активного диагностирования ГМП).

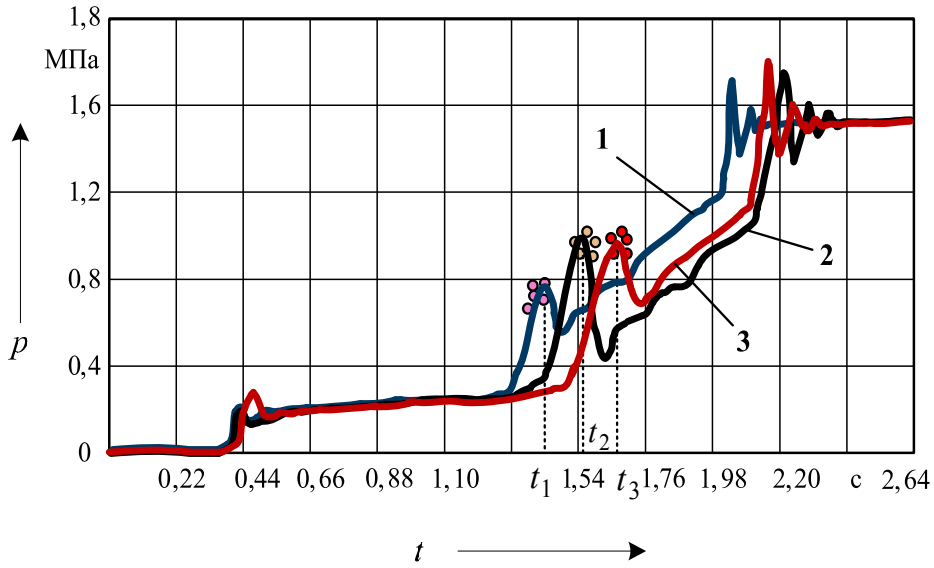


Рис. 3. Характеристики изменения давления во фрикционе ГМП при различных наработках: 1 – начальный износ дисков, наработка ГМП 20000 ч; 2 – допустимый износ дисков, наработка ГМП 45000 ч; 3 – критический износ дисков, наработка ГМП 70000 ч

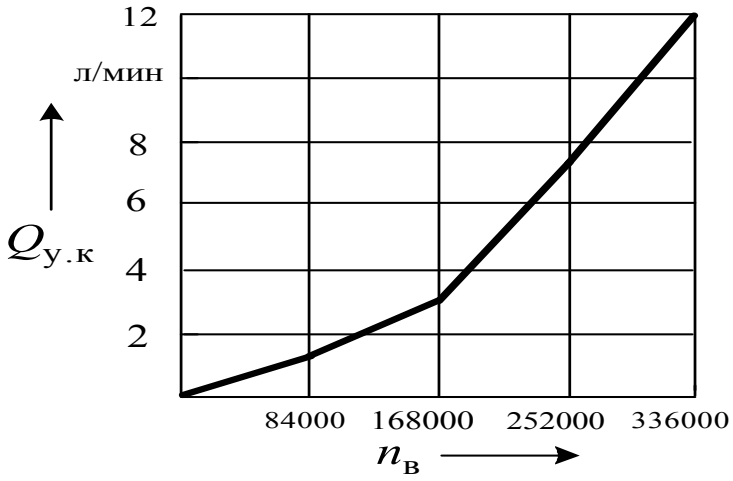


Рис. 4. Зависимость утечек из-под уплотнительного кольца от числа включений фрикциона

В процессе выполнения комплекса исследований автором было также установлено, что при возникновении отказов и неисправностей в гидроприводе управления ГМП происходит *существенное изменение некоторых показателей,* что позволяет определить причины возникших неисправностей. Так, с использованием предложенного автором показателя оценки работоспособности ГМП – коэффициента вариации V_{si} (s – вид параметра, номер индекса, соответствующий номеру магистрали гидропривода управления ГМП) инструментальными методами *были выявлены* отклонения V_{si} при переходе ГМП в неработоспособное состояние. Коэффициент вариации определялся по формуле

$$V_s = \frac{\sigma_s}{\overline{s}},$$

где σ_s и $\overline{s}$ – среднее квадратическое

отклонение и математическое ожидание диагностического параметра.

Результаты оценок приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты оценки работоспособности ГМП по критерию V_{si}

Вид неисправности гидропривода ГМП	Показатель оценки	Значение коэффициента вариации V_{si}	
		При исправной ГМП	При наличии неисправности
Утечки в уплотнениях фрикционов	V_{Q3}	До 7,1	11,4–11,8
Увеличение внутренних перетечек	V_{Q2}	До 7,8	12,3–12,9
Насыщение рабочей жидкости воздухом	V_{Q1}	8,5–9,0	Св. 16,2
Ослабление возвратных пружин	V_{p3}	3,3–3,6	5,7
Заклинивание золотника	$V_{p\text{п.к}}$	2,0–2,4	8,7
Засорение магистрали	V_{p3}	2,2–2,8	6,4
Повышенный износ золотника	V_{Q3}	3,7–3,9	9,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.: ил.

2. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.

3. Устройство управления фрикционами автоматической гидромеханической передачи : пат. 10960 РБ, С1 МПК B 60 W 10 / 00, F 16 D 29 / 00, F 16 H 61 / 09 / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, С. А. Рынкевич, С. В. Кузнецов, О. В. Пузанова, К. Н. Кусков ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а 20070165 ; заявл. 19.02.07 ; опубл. 30.08.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 4. – С. 78–79.

4. **Красневский, Л. Г.** Современные аппаратно-программные средства обеспечения работоспособности фрикционных узлов гидромеханических передач / Л. Г. Красневский // Композиционные фрикционные материалы : свойства, производство, применение : сб. докл. II Междунар. спец. науч.-техн. семинара, Минск 25–26 мая 2010 г. – Минск : Ин-т порошковой металлургии ГНПО ПМ. – 2010. – С. 144–147.

5. **Рынкевич, С. А.** Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с. : ил.

6. **Тарасик, В. П.** Метод оперативного диагностирования гидромеханической передачи автомобиля на режиме гностического пробега / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 104–112.

7. **Рынкевич, С. А.** Закономерности динамического регулирования гидромеханической передачи карьерного самосвала при создании системы бортового диагностирования / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 102–112.

Статья сдана в редакцию 7 декабря 2012 года

Сергей Анатольевич Рынкевич, д-р техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: rynkev@tut.by.

Sergey Anatolyevich Rynkevich, DSc (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. E-mail: rynkev@tut.by.

УДК 629.113:004.021

В. П. Тарасик

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

UDC 629.113:004.021

V. P. Tarasik

SYNTHESIS OF AN AUTOMATIC GEAR SHIFT ALGORITHM FOR VEHICLES WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

Аннотация

Изложена методика синтеза алгоритма автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической трансмиссией и дизельным двигателем с всережимным регулятором. Приведены формулы для определения параметров алгоритма. Рассмотрены вопросы адаптации алгоритма к условиям эксплуатации и управляющим воздействиям водителя. Приведена функциональная схема структуры алгоритма, реализованного при создании мехатронной системы управления для автомобилей БелАЗ.

Ключевые слова:

алгоритм автоматического переключения передач, гидромеханическая передача, дизельный двигатель с всережимным регулятором, адаптация алгоритма к условиям эксплуатации, пороговые значения параметров алгоритма.

Abstract

The paper presents the methodology of synthesizing an automatic gear shift algorithm for vehicles having the hydromechanical transmission and the diesel engine with an all-speed governor. Formulas are given to determine the algorithm parameters. The algorithm adaptation to operating conditions and driver's control actions is considered. A functional diagram of the structure of algorithm used in creating a mechanotronic control system for BELAZ trucks is given.

Key words:

algorithm of automatic gear shift, hydromechanical transmission, diesel engine with all-speed governor, adaptation of algorithm to operating conditions, threshold values of algorithm parameters.

Автоматическое управление трансмиссией автомобиля должно обеспечивать высокие показатели эффективности выполнения транспортной работы, повышать безопасность движения, парировать ошибочные действия водителя по управлению автомобилем, улучшать условия труда водителя.

Основные показатели эффективности выполнения транспортной работы – средняя скорость движения автомобиля и суммарный расход топлива на конкретном маршруте, характеризующие производительность и топливную экономичность автомобиля. Средняя скорость движения характеризует свойство динамичности автомобиля, заключающееся в его способности быстро разгоняться. Свойства динамичности и экономичности автомобиля противоречивы. Это обусловлено тем, что минимальный удельный расход топлива двигателя внутреннего сгорания достигается в области значений частоты вращения его вала, соответствующей максимальному вращающему моменту $M_{e\max}$, при котором мощность двига-

© Тарасик В. П., 2013

теля снижается на 40…50 % по сравнению с максимальной мощностью $P_{e\max}$. Поэтому желаемый результат (высокая производительность или топливная экономичность) можно получить путем целенаправленного изменения передаточного числа трансмиссии, позволяющего управлять скоростным и нагрузочным режимами двигателя совместно с системой управления топливоподачей двигателя. Это положение составляет основу концепции синтеза алгоритма автоматического переключения передач.

Для заданного конкретного маршрута движения автомобиля на основе математического моделирования можно определить параметры алгоритма автоматического управления переключением передач, обеспечивающие оптимальное использование мощности двигателя по желаемому критерию – динамичности либо экономичности. Однако сформированная на основе такого подхода программа управления трансмиссией и двигателем не может обеспечить оптимальные результаты в иных эксплуатационных условиях, существенно отличающихся от модельных, принятых при разработке алгоритма управления. Эксплуатационные условия характеризуются широким многообразием параметров и диапазоном их изменений. В числе этих параметров коэффициенты сопротивления качению и сцепления колес с дорогой, продольные и поперечные уклоны дороги, радиусы кривизны траектории, протяженность маршрута и отдельных его участков, административные ограничения скорости и ограничения по безопасности движения, величина загрузки автомобиля [1]. На результаты управления может оказывать существенное влияние человеческий фактор, в частности, манера управления автомобилем. Кроме того, в процессе эксплуатации вследствие неизбежных износов и повреждений механизмов и систем их параметры изменяются в довольно широких пределах: снижается мощность двигателя, возрастают потери энергии при ее передаче к ведущим колесам.

Поэтому система управления должна быть адаптивной. Она должна реагировать на параметры внешней среды, загрузку автомобиля, управляющие воздействия водителя. Управление должно осуществляться с учетом изменения положения педали акселератора $\gamma_{\text{а}}$, педали тормоза $\gamma_{\text{т}}$, ускорения автомобиля $a = dv/dt$, уклона дороги h, массы перевозимого груза $m_{\text{гр}}$. Необходимо также учитывать характер управляющих воздействий водителя: скорость изменения координаты акселератора $d\gamma_{\text{а}}/dt$, интенсивность нажатия на педаль тормоза $d\gamma_{\text{т}}/dt$ и др. Могут быть учтены также факторы, характеризующие условия безопасности движения: крен кузова, буксование ведущих колес, занос колес моста, скорость поворота рулевого колеса, поперечное ускорение автомобиля [2–4].

Синтез алгоритма автоматического переключения передач, как показал наш опыт, необходимо выполнять в два этапа [3]. На первом этапе параметры алгоритма определяют на основе характеристик и параметров механизмов и систем автомобиля, принимаемых в качестве эталонных, с учетом которых моделируется движение автомобиля по типовому маршруту. Полученный при этом алгоритм назовем базовым. На втором этапе синтеза определяются параметры и характеристики адаптации базового алгоритма к изменяющимся условиям.

Рассмотрим методику разработки алгоритма управления гидромеханической передачей грузового автомобиля с дизельным двигателем. Такие автомобили выпускают предприятия Беларуси – БелАЗ, МоАЗ, МЗКТ.

Характерной особенностью дизельных двигателей, используемых на большинстве грузовых автомобилей, является применение всережимных ре-

гуляторов частоты вращения коленчатого вала – всережимных регуляторов двигателя (ВРД). На рис. 1 показана типичная скоростная характеристика такого двигателя по вращающему моменту $M_e = f(n_д)$. На графике этой характеристики выделяют внешнюю скоростную характеристику (ВСХ) 1, получаемую при полной подаче топлива в двигатель, и множество регуляторных ветвей 2, 3, 4, …, на которых ВРД ограничивает подачу топлива и частоту вращения вала [1]. Приняты следующие обозначения: $n_д$ – частота вращения вала двигателя, об/мин; M_e – вращающий момент, Н·м; $M_{e\max}$ – максимальный вращающий момент; n_M – частота вращения при $M_{e\max}$; M_P и n_P – вращающий момент и частота вращения при максимальной мощности двигателя $P_{e\max}$; $n_{xx\min}$, $n_{xx\max}$ – минимальное и максимальное значения частоты вращения вала двигателя на холостом ходу при отсутствии нагрузки двигателя, т. е. при $M_e = 0$; $M_{д.п.п}$ и $n_{д.п.п}$ – вращающий момент и частота вращения в точках пересечения ВСХ с регуляторными ветвями.

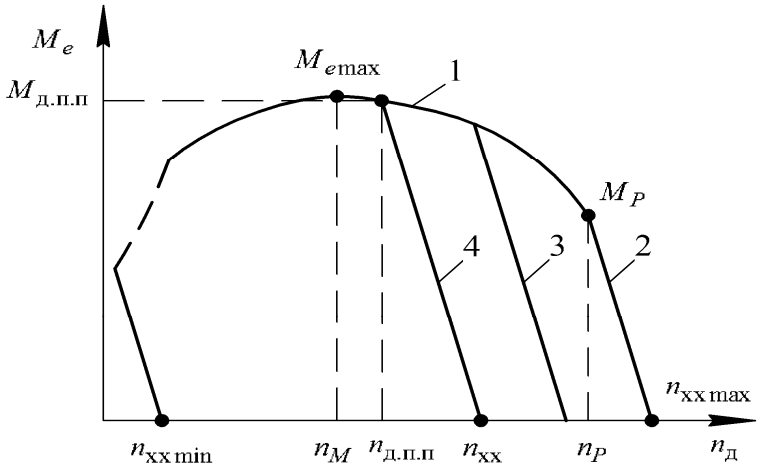


Рис. 1. Скоростная характеристика двигателя

Для описания ВСХ используем уравнение регрессии в виде полинома *n*-го порядка:

$$M_e = M_P \sum_{k=0}^{n} a_k \left(n_д / n_P\right)^k , \qquad (1)$$

где a_k – коэффициент регрессии.

Зависимость между $n_{xx\,i}$ и γ_{ai} на *i*-й регуляторной ветви представим выражением

$$n_{xxi} = n_{xx\min} + \left(n_{xx\max} - n_{xx\min}\right)\gamma_{ai}/100, \qquad (2)$$

где γ_{ai} – значение координаты педали акселератора, %.

При $\gamma_{ai} = 0$ получаем $n_{xx\,i} = n_{xx\min}$, а при $\gamma_{ai} = 100$ – $n_{xxi} = n_{xx\max}$.

Регуляторные ветви полагаем в виде прямых наклонных линий с одинаковым углом наклона, определяемым коэффициентом $k_р$:

$$k_р = \frac{M_P}{n_{xx\max} - n_P} . \qquad (3)$$

Значение момента $M_{\text{д.р}i}$ на i-й регуляторной ветви вычисляется по формуле

$$M_{\text{д.р}i} = k_{\text{р}}\left(n_{\text{хх}i} - n_{\text{д}}\right). \qquad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (4) при принятых значениях $\gamma_{\text{a}i}$, полагая при этом $M_{\text{д.р}i} = M_e$, находим искомые координаты $n_{\text{д.п.п}}$ и $M_{\text{д.п.п}}$ точек пересечения ВСХ с регуляторными ветвями. Часть энергии двигателя затрачивается на привод вспомогательного оборудования. Поэтому получаемые значения M_e, $M_{\text{д.р}i}$, $M_{\text{д.п.п}}$ необходимо уменьшить на некоторую величину $M_{\text{в.о}}$.

Используя вычисленные значения $n_{\text{д.п.п}}$, соответствующие $\gamma_{\text{a}i}$, получаем уравнение регрессии

$$n_{\text{д.п.п}} = b_0 + b_1\gamma_{\text{a}} + b_2\gamma_{\text{a}}^2, \qquad (5)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты регрессии.

Поскольку КПД гидротрансформатора (ГДТ) существенно меньше, чем зубчатых передач, то для эффективного использования мощности двигателя необходимо обеспечить движение автомобиля практически на всем маршруте при блокированном гидротрансформаторе. В этом случае, безусловно, снижается расход топлива. В результате обеспечиваются высокие показатели динамичности и экономичности автомобиля. Переключение с низших передач на высшие при этом целесообразно выполнять в точках пересечения ВСХ с регуляторными ветвями, соответствующими задаваемым водителем положениям педали акселератора. Следовательно, выражение (5) можно принять в качестве основы для разработки базового алгоритма управления переключением передач.

Для получения информации о режимах работы двигателя и автоматической ГМП используют датчики частоты вращения вала двигателя $n_{\text{д}}$, турбины гидротрансформатора $n_{\text{т}}$ и выходного вала ГМП $n_{\text{в.в}}$, а также датчик положения педали акселератора γ_{a}. При заданном водителем значении координаты γ_{a} переключение с низшей передачи на высшую происходит при условии, что частота вращения турбины $n_{\text{т}}$ достигает порогового значения $n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}}$, а ускорение автомобиля положительно:

$$\left.\begin{array}{l} n_{\text{т}} \ge n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}}; \\ dv/dt > 0. \end{array}\right\} \qquad (6)$$

В качестве порогового значения $n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}}$ принимается значение координаты $n_{\text{д.п.п}i}$ точки пересечения ВСХ с i-й регуляторной ветвью. Тогда формула алгоритма переключения с низшей передачи на высшую принимает следующий вид:

$$n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}}\left(i \to i+1\right) = b_0 + b_1\gamma_{\text{a}} + b_2\gamma_{\text{a}}^2, \qquad (7)$$

где i – номер передачи, с которой производится переключение.

Переключение с высшей на низшую передачу осуществляется при достижении частоты вращения турбины порогового значения $n_{\text{т.п.п}}^{\text{н}}$, которое вычисляется по формуле

$$n_{\text{т.п.п}}^{\text{н}}\left(i+1 \to i\right) =$$

$$= \left[n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}}\left(i \to i+1\right) - \Delta n_{\text{т}}\right]\frac{u_{\text{к.п}}\left(i+1\right)}{u_{\text{к.п}}\left(i\right)}, \qquad (8)$$

где $\Delta n_{\text{т}}$ – параметр корректирования величины гистерезиса характеристики переключения между передачами i и $(i + 1)$; $u_{\text{к.п}}(i)$ – передаточное число коробки передач на i-й (низшей) передаче; $u_{\text{к.п}}(i+1)$ – передаточное число коробки

передач на $(i+1)$-й (высшей) передаче.

Разность между пороговыми значениями параметров переключения на высшие и низшие передачи называют гистерезисом характеристик переключения передач. Величина гистерезиса $\Delta n_{\text{т.гист}}$ вычисляется по формуле

$$\Delta n_{\text{т.гист}} = n^{\text{в}}_{\text{т.п.п}}(i \to i+1) - n^{\text{н}}_{\text{т.п.п}}(i+1 \to i). \quad (9)$$

Формулы (7) и (8) используются в определенном диапазоне скоростных режимов работы двигателя, в котором обеспечивается его устойчивая работа. Для выполнения этого условия пороговые значения характеристик переключения передач при $\gamma_{\text{a}} < \gamma_{\text{a min}}$ остаются постоянными. На рис. 2 показан вид графиков характеристик переключения передач, использующих пороговые значения частоты вращения турбины ГДТ. Эти графики, как и все последующие, приведенные в статье, были получены для одного из автомобилей БелАЗ.

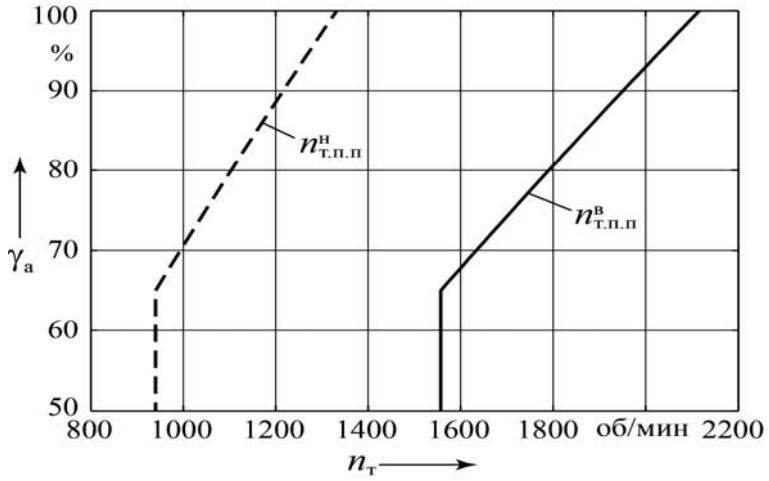


Рис. 2. Характеристики переключения передач по частоте вращения турбины ГДТ

Если вместо датчика частоты вращения турбины использовать датчик частоты вращения выходного вала ГМП, то все коэффициенты регрессии b_0, b_1, b_2 и величину параметра $\Delta n_{\text{т}}$ необходимо поделить на передаточные числа коробки передач $u_{\text{к.п}}(i)$. В результате получаем следующие выражения для определения пороговых значений частоты вращения выходного вала ГМП:

$$n^{\text{в}}_{\text{в.в.п.п}}(i \to i+1) = \frac{b_0 + b_1\gamma_{\text{a}} + b_2\gamma^2_{\text{a}}}{u_{\text{к.п}}(i)} = \frac{n^{\text{в}}_{\text{т.п.п}}(i \to i+1)}{u_{\text{к.п}}(i)}; \quad (10)$$

$$n^{\text{н}}_{\text{в.в.п.п}}(i+1 \to i) = \frac{b_0 + b_1\gamma_{\text{a}} + b_2\gamma^2_{\text{a}} - \Delta n_{\text{т}}}{u_{\text{к.п}}(i)} = \frac{n^{\text{в}}_{\text{т.п.п}}(i \to i+1) - \Delta n_{\text{т}}}{u_{\text{к.п}}(i)}. \quad (11)$$

Величина гистерезиса характеристик переключения передач $\Delta n_{\text{в.в.гист}}$ в этом случае вычисляется по формуле

$$\Delta n_{\text{в.в.гист}} = n^{\text{в}}_{\text{в.в.п.п}}(i \to i+1) - n^{\text{н}}_{\text{в.в.п.п}}(i+1 \to i). \quad (12)$$

На рис. 3 показаны графики характеристик переключения передач при использовании датчика частоты вращения выходного вала ГМП.

При программной реализации алгоритма переключения передач целесообразно использовать оба варианта характеристик, что обеспечивает резервирование источника информации системы управления. В этом случае при выходе из строя, например, датчика частоты вращения турбины система автоматически переключается на использование датчика частоты вращения выходного вала ГМП, и наоборот.

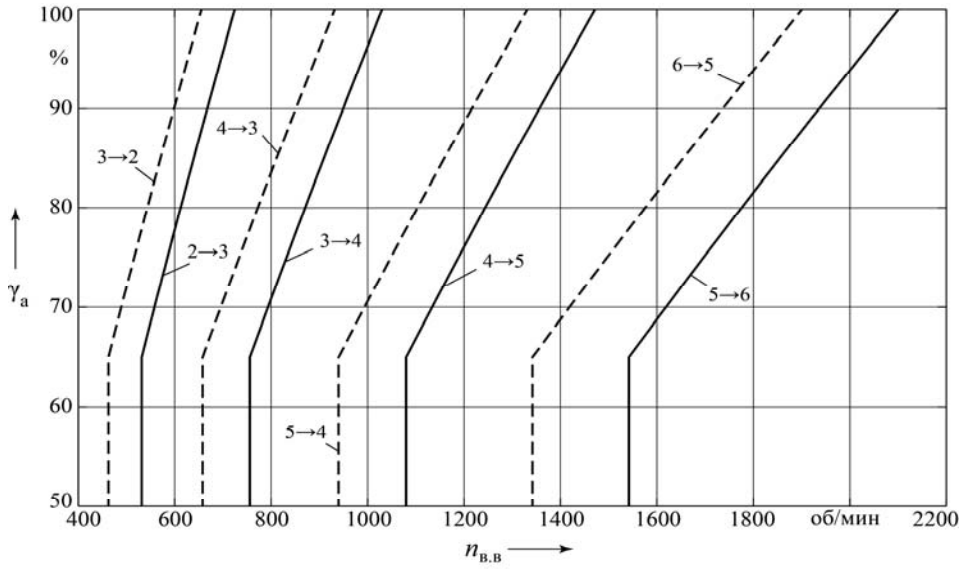


Рис. 3. Характеристики переключения передач по частоте вращения выходного вала ГМП

При моделировании движения автомобиля по маршруту удобно использовать характеристики переключения передач, представленные в виде зависимостей скорости автомобиля $v_{п.п}$, при которой осуществляются переключения на высшие и низшие передачи, от координаты γ_a. Такие характеристики можно построить, учитывая зависимость между частотой вращения турбины $n_{т.п.п}$ и скоростью автомобиля $v_{п.п}$:

$$v_{п.п} = \frac{3{,}6\pi r_к}{30 u_0 u_{кол} u_{к.п}} n_{т.п.п}, \qquad (13)$$

где $r_к$ – радиус качения ведущих колес, м; u_0 – передаточное число главной передачи; $u_{кол}$ – передаточное число колесной передачи.

Формула (13) позволяет определить пороги переключения передач по скорости автомобиля. Значения порогов по этой формуле получаются в километрах в час.

Сравнивая между собой графики, приведенные на рис. 2 и 3, можно отметить, что величина гистерезиса характеристик переключения передач переменная и зависит от выбора источника информации. Если используется датчик частоты вращения турбины ГДТ, то величина гистерезиса $\Delta n_{т.гист}$ зависит от координаты γ_a, причем значение $\Delta n_{т.гист}$ возрастает с увеличением γ_a. При использовании датчика частоты вращения выходного вала ГМП величина гистерезиса $\Delta n_{в.в.гист}$ не зависит от γ_a, но возрастает с увеличением номеров переключаемых передач.

Синтезированный базовый алгоритм автоматического управления необходимо адаптировать к реальным условиям движения. Наибольшее влияние на изменение показателей эффективности оказывают дорожные условия и нагрузка. Дорожные условия характеризуются прежде всего коэффициентом суммарного дорожного сопротивления $\psi = f + h$, где f – коэффициент сопротивления качению, h – продольный уклон дороги. При увеличении значения ψ или массы перевозимого груза $m_{\text{гр}}$ снижается средняя скорость движения, что обусловлено увеличением времени движения на низших передачах и уменьшением ускорения автомобиля при изменении сопротивления движению. Для оценки ускорения автомобиля используется формула [1]

$$\frac{dv}{dt} = \frac{D - \psi}{\delta_{\text{п.м}}} g, \qquad (14)$$

где D – динамический фактор автомобиля; $\delta_{\text{п.м}}$ – коэффициент приведенной массы автомобиля; g – ускорение свободного падения.

Величина D обратно пропорциональна массе автомобиля и зависит от передаточного числа трансмиссии [1]. Следовательно, с увеличением ψ и $m_{\text{гр}}$ ускорение dv/dt снижается и может стать отрицательным, если после переключения на высшую передачу окажется, что $D_i < \psi$. В этом случае переключение передач будет необоснованным, т. к. начнется снижение скорости и придется возвращаться на низшую передачу. Кроме того, в переходном процессе, обусловленном переключением передачи, происходит падение скорости автомобиля из-за снижения подвода энергии к ведущим колесам. Отсюда следует, что система управления должна быть адаптивной и изменять параметры характеристик переключения передач в зависимости от дорожных условий и величины перевозимого груза, оцениваемой коэффициентом нагрузки $K_{\text{н}}$.

Предположим, что при движении автомобиля на i-й передаче достигнуто выполнение условий (6), а в интервале времени, необходимом для совершения процесса переключения на $(i + 1)$-ю передачу, дорожные условия не изменяются, т. е. $\psi = \text{const}$. Тогда на основании формулы (14) можно записать следующее равенство:

$$D(i) - \frac{a(i)\delta_{\text{п.м}}(i)}{g} = D(i+1) - \frac{a(i+1)\delta_{\text{п.м}}(i+1)}{g}, \qquad (15)$$

где $D(i), D(i+1)$ – значения динамического фактора соответственно на i-й и на $(i + 1)$-й передачах при скорости $v_{\text{а}} = v^{\text{в}}_{\text{п.п}}(i)$; $a(i), a(i+1)$ – ускорения автомобиля при этих же условиях; $\delta_{\text{п.м}}(i), \delta_{\text{п.м}}(i+1)$ – значения коэффициента приведенной массы на i-й и $(i + 1)$-й передачах соответственно.

Равенство (15) позволяет определить необходимую величину ускорения, при которой можно включить $(i + 1)$-ю передачу, избежав при этом замедления автомобиля. Принимая предельный случай, при котором $a(i+1) = 0$, получаем пороговое значение запаса ускорения на i-й передаче:

$$Za(i \to i+1) = \frac{D(i) - D(i+1)}{\delta_{\text{п.м}}(i)} g, \qquad (16)$$

где $Za(i \to i+1)$ – величина запаса ускорения, необходимая для обоснованного переключения на высшую передачу.

В результате получаем условия для формирования команды на переключение передач $(i \to i + 1)$ адаптивной системой управления в следующем виде:

$$\left.\begin{array}{l} n_{\text{т}} \geq n^{\text{в}}_{\text{т.п.п}}; \\ a > Za\left(i \to i+1\right). \end{array}\right\} \qquad (17)$$

Для определения $Za(i \to i+1)$ необходимо вычислить значения динамического фактора $D(i)$ на i-й передаче, на которой происходит движение автомобиля при пороговом значении скорости $v_{\text{a}} = v^{\text{в}}_{\text{п.п}}(i)$, соответствующем равенству $n_{\text{т}} = n^{\text{в}}_{\text{т.п.п}}$, и при этой же скорости вычислить значение динамического фактора на передаче $(i + 1)$.

На рис. 4 в качестве примера показаны характеристики динамического фактора одного из автомобилей БелАЗ на двух смежных передачах при двух значениях коэффициента нагрузки: $K_{\text{н}} = 0$ (снаряженный автомобиль); $K_{\text{н}} = 1$ (полная нагрузка). Построение характеристик $D(i)$ осуществляется для значений координаты педали акселератора в диапазоне $\gamma_{\text{a min}} \leq \gamma_{\text{a}} \leq 100$ %. Для вычисления $D(i)$ используются значения момента двигателя $M_{\text{д.п.п}}$ в точках пересечения ВСХ с регуляторными ветвями.

Из рис. 4 видно, что при $K_{\text{н}} = 0$ значения $D(i)$ существенно выше, чем при $K_{\text{н}} = 1$. При этом величина разности $D(i) - D(i+1)$ с уменьшением скоростного режима, определяемого значением γ_{a}, возрастает. Следовательно, увеличивается и пороговое значение запаса ускорения, необходимого для обоснованного переключения на высшую передачу.

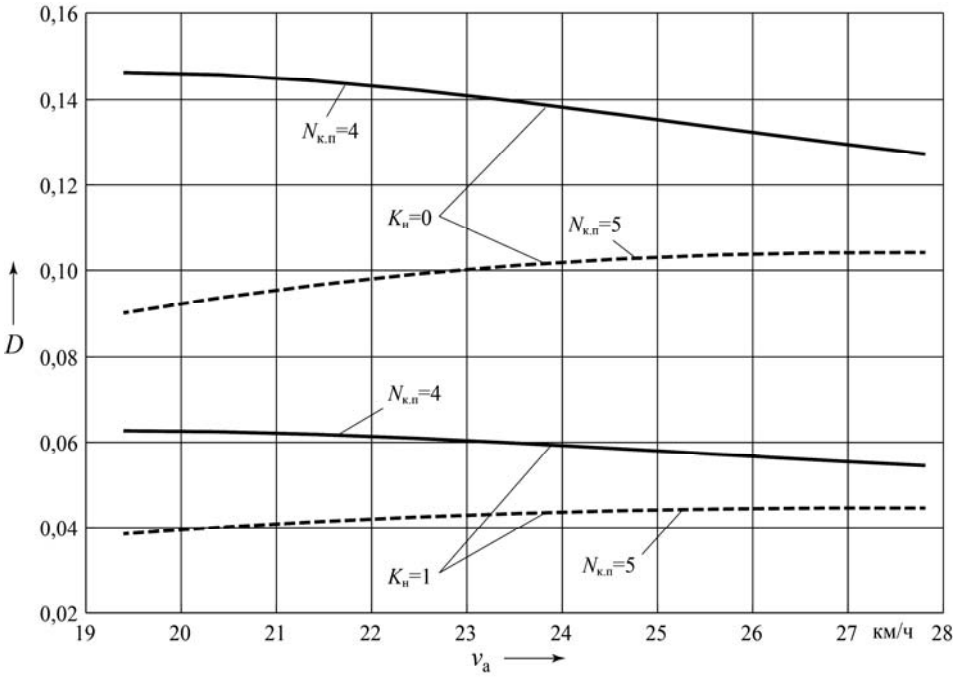


Рис. 4. Характеристики динамического фактора автомобиля на двух смежных передачах

С помощью полученных значений $D(i)$ и $D(i+1)$ и вычисленных по формуле (16) значений $Za(i \to i+1)$, соответствующих принятым координатам γ_{ai}, составляется уравнение регрессии, связывающее Z_a с γ_{a} и $K_{\text{н}}$. Достаточно точная аппроксимация достигается использованием полинома второго по-

рядка:

$$Z_a = b_0 + b_1\gamma_{\text{а}} + b_2 K_{\text{н}} + \\ + b_3\gamma_{\text{а}} K_{\text{н}} + b_4\gamma_{\text{а}}^2 + b_5 K_{\text{н}}^2, \qquad (18)$$

где $b_0, b_1, \ldots, b_5$ – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты выражения (18) необходимо получить для всех пар переключений с низших на высшие передачи. На рис. 5 показаны графики зависимостей $Z_a = f(\gamma_{\text{а}}, K_{\text{н}})$ для переключения 4→5. Чем выше уровень нагрузки, определяемый величиной $K_{\text{н}}$, и выше скоростной режим, выбираемый водителем и определяемой координатой педали акселератора $\gamma_{\text{а}}$, тем меньший требуется запас ускорения Z_a.

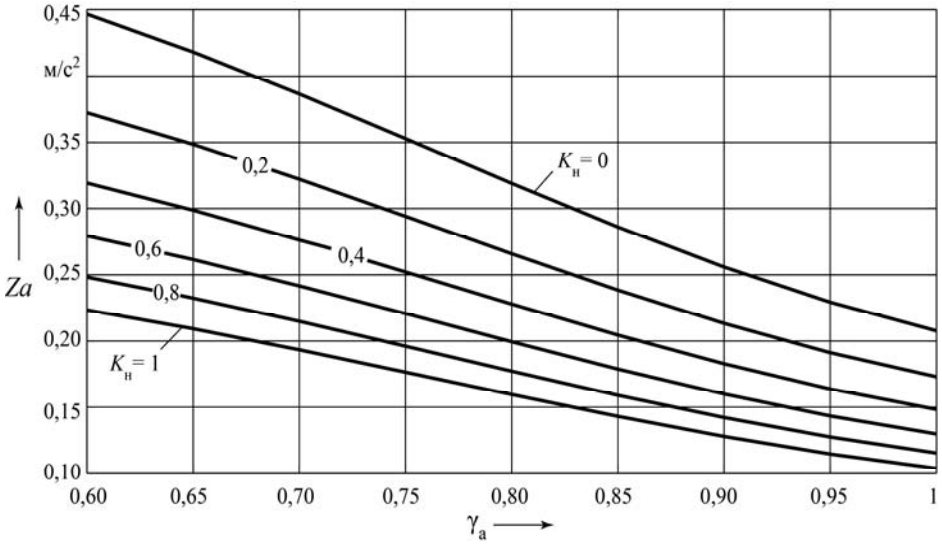


Рис. 5. Графики запаса ускорения при различном уровне нагрузки автомобиля

Если условия (17) не выполнены, но автомобиль продолжает разгоняться, а частота вращения турбины достигает значения $n_{\text{т}} = n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}} + \Delta n_{\text{т.рег}}$, где $\Delta n_{\text{т.рег}}$ – приращение частоты вращения турбины, соответствующее выходу скоростной характеристики двигателя на регуляторную ветвь, то используются условия переключения на высшую передачу в следующем виде:

$$\left.\begin{array}{l} n_{\text{т}} \geq n_{\text{т.п.п}}^{\text{в}} + \Delta n_{\text{т.рег}}; \\ a > 0. \end{array}\right\} \qquad (19)$$

Значение $\Delta n_{\text{т.рег}}$ определяется из условия, чтобы динамический фактор автомобиля на (i + 1)-й передаче при достигнутой скорости разгона был на 5…10 % выше, чем на i-й передаче при работе двигателя на регуляторной ветви скоростной характеристики.

Переключения на низшие передачи производятся только с учетом достижения порогового значения информационной переменной по условию

$$n_{\text{т}} \leq n_{\text{т.п.п}}^{\text{н}}. \qquad (20)$$

Алгоритм управления переключением передач должен быть также адаптирован к управляющим воздействиям водителя. Например, при резком сбросе педали акселератора автомобиль в силу его инерционности не может мгновенно

изменить скорость, поэтому создаются условия для переключения на высшую передачу, что видно из рис. 3. При последующем нажатии на педаль акселератора возникает необходимость обратного переключения на низшую передачу. Это приводит к излишним необоснованным переключениям передач, увеличивается износ фрикционных элементов управления, возникают продольные толчки, ухудшающие плавность движения автомобиля. Для исключения этого нежелательного явления осуществляется вычисление скорости перемещения педали акселератора $d\gamma_a/dt$, величина которой сравнивается с ее предельным пороговым значением $d\gamma_a$, при превышении которого алгоритм осуществляет запрет на переключение передач. Значение $d\gamma_a$ отрицательное, т. к. γ_a при сбросе педали уменьшается. При $d\gamma_a/dt < d\gamma_a$ в течение заданного интервала времени происходит задержка возможного формирования команды на переключение передач.

При включении тормозных механизмов в течение всего периода торможения переключение передач не осуществляется. Это исключает блокировку колес тормозными механизмами, обеспечивая безопасность движения. В качестве информационного сигнала о торможении автомобиля используется дискретный сигнал датчика включения тормоза $\gamma_т$. После прекращения торможения и последующей выдержки заданного интервала времени, необходимой для нажатия водителем педали акселератора и установки ее в выбранное положение, алгоритм выдает разрешение на управление переключением передач. При этом включается передача, соответствующая скорости движения автомобиля и положению педали акселератора.

На рис. 6 приведена функциональная схема структуры алгоритма автоматического управления переключением передач.

При включении питания контроллера управления ГМП выполняются инструкции, записанные в блоке инициализации 1: задается время цикла контроллера; производится инициализация частотных, аналоговых, температурных входов и выходов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), CAN-шины контроллера; считывается массив параметров управления из энергонезависимой памяти EEPROM (базы данных).

В блоке сбора и обработки информации 2 осуществляется опрос всех датчиков системы автоматического управления ГМП и системы управления двигателем с последующей обработкой сигналов этих датчиков, а также считывается и расшифровывается информация из CAN-шины автомобиля. К CAN-шине, кроме контроллера управления ГМП, подключены блок управления двигателем, селектор режимов управления ГМП, дисплей и блок управления системы контроля загрузки автомобиля.

В блоке 3 выполняются операции диагностирования состояния механизмов ГМП и электронных компонентов системы управления: датчиков, электромагнитных пропорциональных клапанов, элементов контроллера.

В первом цикле работы контроллера логическая переменная Start = False, поэтому выполняется программа предстартовой диагностики (блок 5). Производится проверка правильности подключения электромагнитных клапанов и датчиков давления, диагностируются неисправности гидравлической системы управления фрикционами. Если неисправностей не обнаруживается, то в ГМП включается нейтраль, а переменной Start присваивается значение True. На последующих циклах выполняется алгоритм управления ГМП, реализуемый в блоках 6…12.

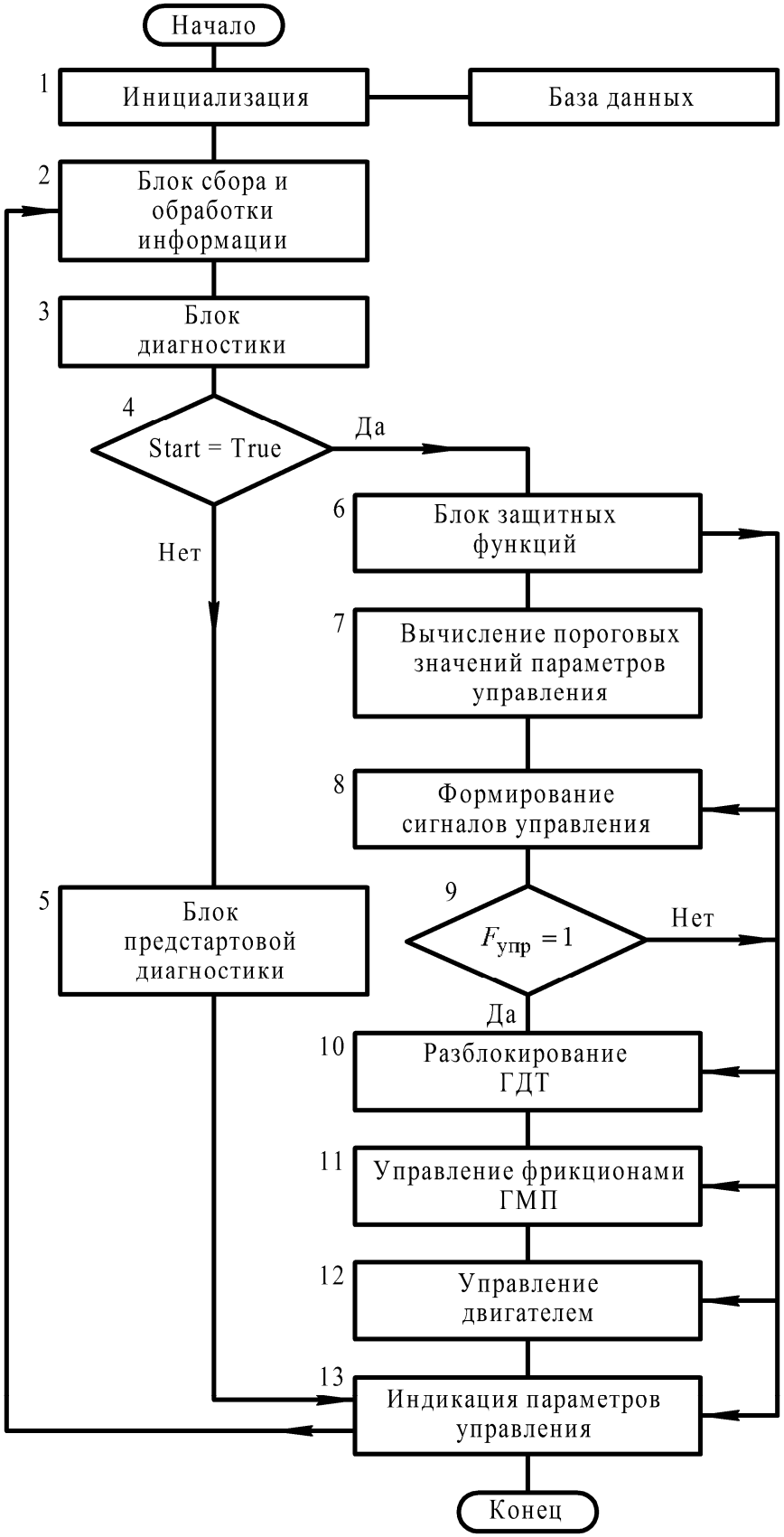


Рис. 6. Функциональная схема структуры алгоритма переключения передач

Блок защитных функций 6 предназначен для обеспечения работоспособности системы при возникновении аварийных режимов работы, в числе которых пробуксовка фрикционов после завершения процесса их включения, непредусмотренная комбинация включаемых фрикционов на данной передаче, выход из строя электромагнитных клапанов, недостаточное давление рабочей жидкости в главной гидромагистрали и др. При возникновении этих неисправностей изменяется работа алгоритма управления таким образом, чтобы исключить катастрофические разрушения механизмов ГМП. Например, если при включении какой-либо передачи ее фрикцион не замыкается, а продолжает буксовать, то формируется команда на включение резервной аварийной передачи без использования необходимых условий, соответствующих выражениям (17), (19) и (20). Команда на ее включение передается непосредственно в блок 11. При этом разблокируется гидротрансформатор (блок 10) и подается команда на снижение скоростного режима двигателя (блок 12). Информация об аварийной ситуации поступает в блок индикации 13, на табло появляется соответствующее сообщение, сопровождаемое звуковым сигналом.

При нормальном функционировании системы в блоке 7 вычисляются пороговые значения параметров управления, на основе которых в блоке 8 осуществляется формирование команды на управление переключением передач. Если сформирован сигнал на переключение передачи, логическая переменная $F_{\text{упр}}$ принимает значения $F_{\text{упр}} = 1$, что приводит к запуску программы управления переключением передач, которая отрабатывается в блоках 10, 11 и 12. При этом логическая переменная $F_{\text{упр}}$ принимает значение $F_{\text{упр}} = 0$, которое сохраняется в течение интервала времени, необходимого для завершения процесса переключения. На время переключения передачи разблокируется гидротрансформатор, а при переключении с низшей на высшую передачу снижается подача топлива в двигатель путем формирования соответствующей команды в блоке 12. Команда по CAN-шине передается в электронный блок управления двигателем.

Изложенная в статье методика синтеза алгоритма переключения передач использовалась при создании мехатронной системы автоматического управления (МСАУ) гидромеханической передачей для карьерных самосвалов БелАЗ-7555Е и БелАЗ-75450 грузоподъемностью соответственно 55 и 45 т. Проведенные заводские испытания и эксплуатационные испытания в карьерных условиях показали высокие показатели эффективности алгоритма управления. Самосвалы БелАЗ, оснащенные созданной системой управления и диагностирования, работают в карьере «Гранит» (г. Микашевичи) и в карьере «Ерунаковский» (г. Новокузнецк, Российская Федерация).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Теория движения автомобиля : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.

2. **Горбатенко, Н. Н.** Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко, А. Н. Егоров, В. В. Регинь ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.

3. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами : монография / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с.

4. **Тарасик, В. П.** Мехатронная система автоматического управления гидромеханической передачей карьерных самосвалов БелАЗ / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, Р. В. Плякин // Грузовик. – 2011. – № 2. – С. 2–11.

5. **Пат. RU 2 424 927 C 1 : МПК B 60W 10 / 10.** Способ управления автоматической двухдиапазонной коробкой передач и устройство для его осуществления / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, И. М. Дычкин [и др.]. – Опубл. 27.07.11, Бюл. № 21. – 12 с.

Статья сдана в редакцию 20 декабря 2012 года

Владимир Петрович Тарасик, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-36-45.

Vladimir Petrovich Tarasik, DSc (Engineering), Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-36-45.

УДК 621.77.016:62178.061

И. В. Терешко, В. А. Логвин, В. П. Редько

ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

UDC 621.77.016:62178.061

I. V. Tereshko, V. A. Logvin, V. P. Redko

ON-BOARD SYSTEM ALGORITHM FOR DIAGNOSING BRAKES OF LINEHAUL VEHICLE

Аннотация

В статье представлены результаты исследований дислокационной структуры материалов, микротвёрдости сплавов от времени, прошедшего после прекращения облучения, температурной зависимости их электросопротивления после обработки низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда. Показано, что изменение физико-механических свойств материалов, подвергнутых обработке низкоэнергетической плазмой, не может быть объяснено в рамках классической физики радиационных дефектов твердого тела. Повышение дислокационной плотности на глубине, превышающей проективный пробег ионов от поверхности мишени, происходит вследствие нелинейных колебаний атомных осцилляторов и приводит к образованию новых метастабильных долгоживущих структур с формированием наноразмерных комплексов и кластеров.

Ключевые слова:

плазма, тлеющий разряд, дальнодействие, микротвердость, плотность дислокаций, нанокластер, самоорганизация, солитон.

Abstract

The paper gives the results of a research into the dislocation structure of materials, microhardness of alloys from the time which has elapsed after the termination of exposure to radiation; the temperature dependence of their electrical resistance after low-energy glow-discharge plasma processing. It is shown that the change of physical and mechanical properties of the materials subjected to low-energy plasma processing cannot be explained within the limits of classical physics of radiation defects of a solid body. The increase of dislocation density at the depth exceeding a projective range of ions from the target surface occurs as a result of nonlinear fluctuations of atomic oscillators, and leads to the formation of new metastable long-lived structures with the formation of nanodimensional complexes and clusters.

Key words:

plasma, glow discharge, long-range action, micro-hardness, dislocation density, nanocluster, self-organization, soliton.

Одним из новых направлений в разработке эффективных способов упрочнения или пластификации металлов и сплавов является формирование в них нанокластеров низкоэнергетическим воздействием плазмы тлеющего разряда [1–5]. Энергия заряженных частиц разряда не должна превышать энергию, необходимую для активного образования в металлах точечных дефектов. Данные технологии базируются на нелинейных эффектах, генетически заложенных в потенциальную энергию взаимодействия структурных элементов кристаллических решеток и определяющих их модификацию при низкоэнергетическом

© Терешко И. В., Логвин В. А., Редько В. П., 2013

воздействии плазмы тлеющего разряда. При этом особое значение приобретает знание нелинейных характеристик облучаемых мишеней, учитывая которые, можно путем слабого воздействия вызвать внутренние процессы перестройки систем с образованием новых метастабильных долгоживущих структур. Структуры данного типа могут быть пространственными, временными или пространственно-временными. Способность открытых систем создавать автономные временные и пространственно-временные структуры при наличии внешнего потока энергии рассматриваются как самоорганизация систем [6, 7].

Наиболее важным результатом низкоэнергетической плазменной обработки материалов является «эффект дальнодействия» [8–12], под которым понимается значительное превышение глубины модифицированного слоя в облученных материалах над величиной проективного пробега налетающих ионов в мишенях [13–19]. Активно проводились исследования на разных материалах и при различных энергиях заряженных частиц, значительно превышающих энергию плазмы тлеющего разряда, что относится к направлению ионной имплантации.

Проведение исследований в области обработки плазмой тлеющего разряда позволит использовать все достоинства процессов взаимодействия частиц с твёрдым телом с целью получения материалов с требуемыми эксплуатационными характеристиками на основе вариации: энергией частиц, дозой облучения, температурой мишеней, материалами электродов и формируемой среды в вакуумной камере [20–22]. Использование плазмы тлеющего разряда позволяет подвергать мишени воздействию ионного потока с широким спектром качества ионов и их энергий и не требует формирования концентрированных ионных пучков. Это процесс взаимодействия хаоса налетающих ионов и кристаллических решеток облучаемых мишеней. Разработку способов и технологических процессов обработки по активному, дальнодействующему наноструктурированию облучаемых материалов необходимо проводить на основе исследования основных физических процессов, определяющих данное явление.

Главной задачей работы являлось исследование основных самоорганизационных процессов в металлах и сплавах, подвергнутых низкоэнергетическому воздействию плазмы тлеющего разряда, с целью разработки новых способов и технологий их упрочнения или пластификации.

Методика исследования изменений физико-механических свойств материалов при воздействии плазмы тлеющего разряда

В качестве объекта экспериментального исследования были выбраны следующие материалы: α-Fe, быстрорежущая сталь Р6М5, электролитический никель, шарикоподшипниковая сталь ШХ-15, техническая медь М3, медно-графитовые вставки типа ВТКМГ, образцы янтаря и двухкарбидный твердый сплав Т15К6. Твердые сплавы имеют резко гетерогенную структуру и обладают сложным характером химических связей с преимущественно ковалентной и ионной составляющей. Вольфрам растворяется в карбидах титана, формируя сложные карбиды (Ti, W)C во время спекания. Исходная твердость и хрупкость металлокерамического соединения зависят от процентного содержания в сплаве этих сложных карбидов [21].

Все образцы подвергались обработке плазмой тлеющего разряда с варьированием времени обработки. При этом образцы облучались ионами, образующимися из молекул газов воздуха (азота, кислорода, водорода и др.) с энергией 1…2,5 кэВ. Доза облучения соответствовала $2 \cdot 10^{17}$ион/см^2. Средняя интегральная температура образцов во время облучения не превышала 343 К. Образцы при облучении помещались на катоде. Исследовалась зависимость

микротвёрдости сплавов от времени, прошедшего после прекращения облучения (измерения проводились по суткам в течение двух месяцев). Микротвердость материалов измерялась прибором ПМТ-3.

Тонкая структура всех материалов была изучена послойно электронно-микроскопическим методом. Дислокационная структура материалов до и после облучения на разных глубинах от облученной поверхности исследовалась с помощью трансмиссионных электронных микроскопов ЕМ-125 и TESLA-540.

Температурная зависимость электросопротивления облученных материалов исследовалась на образцах технической меди, а также на графитовых образцах с примесями меди и свинца.

Для проведения вычислительного эксперимента использовали метод молекулярной динамики. В качестве потенциала атомного взаимодействия в кристаллических решетках принимали потенциал Морзе

$$U(r) = J\begin{Bmatrix} \exp\left[-2\alpha\left(r-r_0\right)\right]- \\ -2\exp\left[-\alpha\left(r-r_0\right)\right] \end{Bmatrix}, \qquad (1)$$

где J, α – параметры энергии диссоциации пары атомов и степень ангармонизма потенциала соответственно; Δr – смещение атомов из положения равновесия, $\Delta r = r - r_0$.

Проведя разложение потенциала в ряд Тейлора, имеем

$$F = -\frac{dU\left(r\right)}{dr} = -K\Delta r + A\Delta r^2 - $$

$$- B\Delta r^3 + C\Delta r^4 - D\Delta r^5, \qquad (2)$$

$$K = 2\alpha^2 J\ , \quad A = 3\alpha^3 J\ , \ B = 2,3\alpha^4 J\ ,$$

$$C = 1,25\alpha^5 J\ , \ D = 1,1\alpha^6 J,$$

где K, A, B, C, D – коэффициенты упругости, квадратичной и кубической нелинейностей, а также коэффициенты нелинейностей четвертого и пятого порядка соответственно.

Коэффициенты K, A, B, C, D определены с помощью параметров потенциала Морзе для α-Fe [22]. При этом была разработана специальная модель для расчета смещения атомов кристаллической решетки под действием внешнего низкоэнергетического ионного облучения, базирующаяся на представлении трехмерных решеток как сети нелинейных атомных цепочек (рис. 1).

Для модели проводились расчеты в трехмерном и двухмерном представлениях с использованием уравнений классической динамики. Результаты расчетов контролировали выделением из трехмерной решетки одной цепочки атомов, которую возможно описать дифференциальными уравнениями [5].

Для цепочки атомных осцилляторов, состоящей из n элементов, составлена система дифференциальных уравнений второго порядка, которая решалась с помощью метода Рунге-Кутта, что позволило исследовать зависимость смещения каждого атома решетки от времени, прошедшего после прекращения внешнего воздействия. На основе вычислений строились графики для наблюдений процесса релаксации каждого атома после начального воздействия и для наблюдения соответствующей локализации атомов всей решетки, вытянутой в цепочку для заданного времени. Для внешнего воздействия задавался единичный ионный удар, а также хаотический ионный поток, имеющий ионы одного вида, но взаимодействующий с поверхностью под различными углами в случайные моменты времени и с различными энергиями, отнесенными к классу низкоэнергетических.

Размеры модельного кристалла можно варьировать в широких пределах по количеству атомов в отдельных цепочках ветвей кристалла (от 1×1×1 до 1000×1000×1000). Выбор больших объемов атомов кристалла приводит лишь к большим затратам расчетного времени.

Главная задача исследований – достигнуть возбуждения нелинейных колебаний в системе и проследить за процессом стабилизации решеток после прекращения внешнего облучения. Граничные условия, заложенные в программу, представлены в виде жестких и периодических. Величина передаваемой энергии от налетающего иона атому кристалла определяется по классическим формулам [22]. Она должна быть достаточной, чтобы создать условия для возбуждения нелинейных колебаний в атомных цепочках.

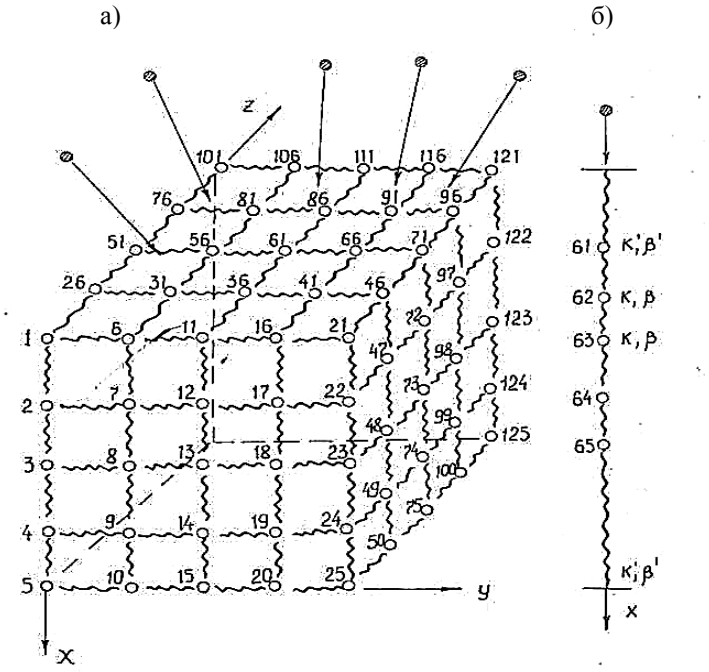


Рис. 1. Схема взаимодействия ионного пучка с кристаллической решеткой: а – трехмерное представление; б – одномерная нелинейная цепочка

Исследования по схеме проводили также с использованием потенциалов межатомного взаимодействия Борн-Майера, Тоде, Джонсона и Линдхарда. Показано, что коэффициенты *K*, *A*, *B*, *C*, *D* изменяются в зависимости от вида потенциала. Для нелинейной среды, что характерно для реального кристалла, многоямные потенциалы являются наиболее подходящими.

Исследование изменений физических и механических свойств материалов после воздействия плазмы тлеющего разряда

Наиболее значимый результат электронно-микроскопического исследования тонкой структуры материалов после воздействия плазмы тлеющего разряда состоит в том, что низкоэнергетическое облучение металлических образцов приводит к повышению плотности дислокаций на глубину, значительно превышающую проективный пробег ионов от поверхности облучения. Этот результат может быть представлен как дальнодействующий эффект [1–5].

Подобный эффект, но в значительно меньших масштабах – глубина модифицированного слоя не превышала 100 мкм – наблюдался в [15] при имплантации ионов Hf и Ar в α-Fe. Энергия ионов при этом соответствовала интервалу 40…70 кэВ, что, по сути, является ионной имплантацией. Достаточно большая глубина модифицированного

слоя в работе связывается с напряжениями, полученными при ионной имплантации внедренных ионов.

Результаты сравнительных исследований представлены на рис. 2, где показано изменение средней скалярной плотности дислокаций в зависимости от расстояния от поверхности облучения при различных режимах. Зависимости 2 и 4 получены при напряжении $U = 0{,}8$ кВ, зависимость 3 – при напряжении 2 кВ. Зависимость 1 приведена для сравнения дальнодействующего эффекта, наблюдаемого Ю. Шаркеевым для α-Fe, облученного ионами Hf с энергией 100 кэВ с эффектом при низкоэнергетическом воздействии плазмы тлеющего разряда. Очевидно, что эффект дальнодействия более значителен, если энергия ионов понижается почти на два порядка.

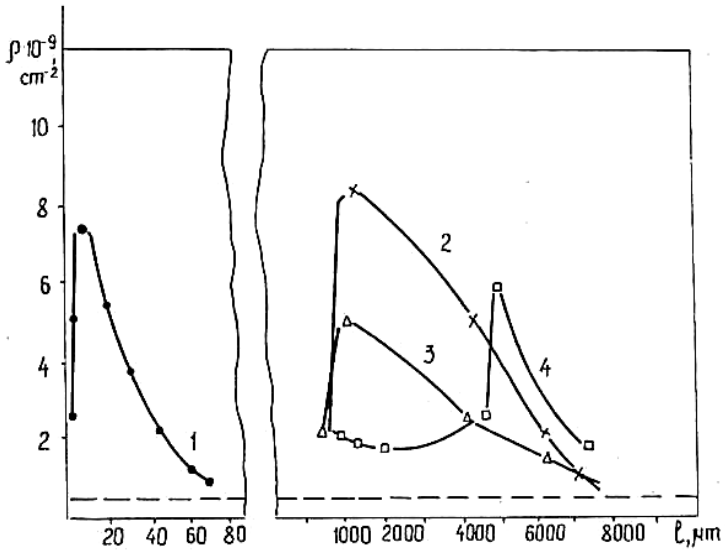


Рис. 2. Зависимость скалярной плотности дислокаций от расстояния до облучённой поверхности: 1 – α-Fe, имплантированное ионами гафния с энергией 100 кэВ; 2 – α-Fe, энергия ионов 0,8 кэВ, время облучения 90 мин; 3 – α-Fe, энергия ионов 2 кэВ, время облучения 90 мин; 4 – α-Fe, энергия ионов 0,8 кэВ, время облучения 60 мин. Штриховая линия соответствует начальному состоянию

Эффект значительного повышения плотности дислокаций наблюдается только в хорошо отожженных образцах с небольшой исходной плотностью дислокаций (α-Fe). На рис. 3 представлена дислокационная структура α-Fe в исходном (необлученном) состоянии и после воздействия низкоэнергетической плазмы тлеющего разряда. Установлено, что после воздействия плазмы тлеющего разряда плотность дислокаций существенно возрастает даже на глубине 8,19 мм от поверхности облучения, а структура соответствует состоянию глубоко деформированного материала [10].

В материалах с исходной повышенной плотностью дислокаций (неотожженная медь и быстрорежущая сталь Р6М5 и др.) наиболее значимыми будут происходящие перестройки имеющейся дислокационной структуры, заключающиеся в интенсивном образовании дислокационных фрагментов или измельчении фрагментов с соответствующим увеличением их взаимных разориентаций. Причем эти перестройки происходят на большой глубине от поверхности облучения. Обращает на себя внимание наличие существенных перестроек в карбидных фазах, в частности, их измельчение после плазменного воздействия (сталь Р6М5 и сплав Т15К6).

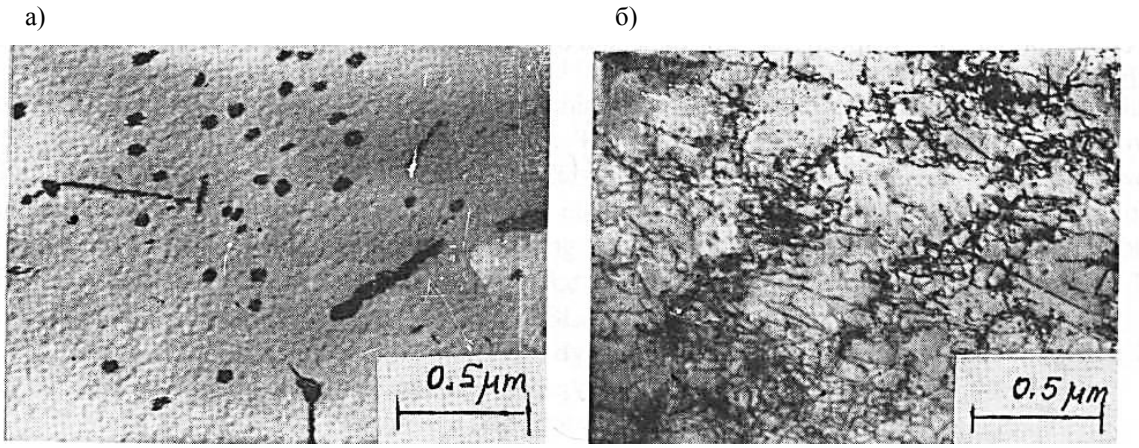


Рис. 3. Дислокационная структура α-Fe: а – необлученное состояние; б – после облучения в плазме тлеющего разряда при напряжении 1 кВ на расстоянии 8,19 мм от поверхности облучения

На рис. 4 представлена зависимость микротвердости быстрорежущей стали Р6М5 от времени, прошедшего после прекращения облучения. На оси ординат отложены относительное изменение микротвердости (Hμ-Hμo)/Hμo, где Hμ – микротвердость образцов после облучения, Hμo – исходная микротвердость необлученных образцов. Облучение проводилось при напряжении U = 2,5 кВ, и время обработки составляло 90 мин. Зависимость 1 соответствует измерениям, проведенным на облученной поверхности, зависимость 2 представляет результаты измерений на обратной стороне образцов, не подвергаемой непосредственно воздействию низкоэнергетической плазмы тлеющего разряда в процессе облучения. Высота образцов составляла 10 мм, и обратная сторона плотно прилегала к поверхности катода. Следует отметить, что величина микротвердости на обратной стороне образцов мало отличается от величины на облученной поверхности.

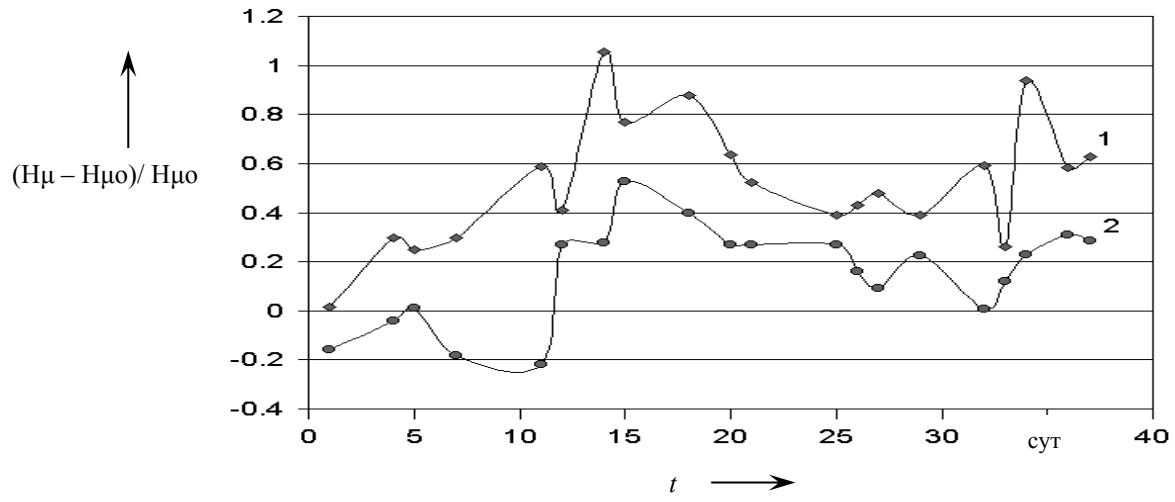


Рис. 4. Зависимость относительного изменения микротвердости образцов из быстрорежущей стали Р6М5 от времени, прошедшего после прекращения облучения: 1 – облученная поверхность образца; 2 – обратная сторона образца

Можно выделить следующие особенности: в течение длительного времени (до 1,5 месяцев) после прекращения облучения наблюдаются очень сильные осцилляции значений микротвердости во времени, которые превосходят во много раз погрешность измерения. Эти осцилляции ярко выражены как для облученной, так и обратной стороны образцов (имеется ярко выраженная тенденция к возрастанию микротвердости образцов с увеличением времени, прошедшего после их облучения плазмой тлеющего разряда). Приблизительно через месяц наблюдается возрастание микротвердости на 80…90 % относительно исходного уровня необлученных образцов. Этот факт свидетельствует о долгоживущем сильно неравновесном состоянии образцов после низкоэнергетического облучения. Осцилляции значений микротвердости получены также при облучении твердых сплавов Т15К6 и электролитического никеля.

На рис. 5 представлена зависимость микротвердости образцов янтаря от времени, прошедшего после облучения плазмой тлеющего разряда.

Из рис. 5 видно, что после низкоэнергетического облучения наблюдается уменьшение микротвердости янтаря (волнистая линия на графике) по сравнению с величиной микротвердости в необлученном состоянии (сплошная линия).

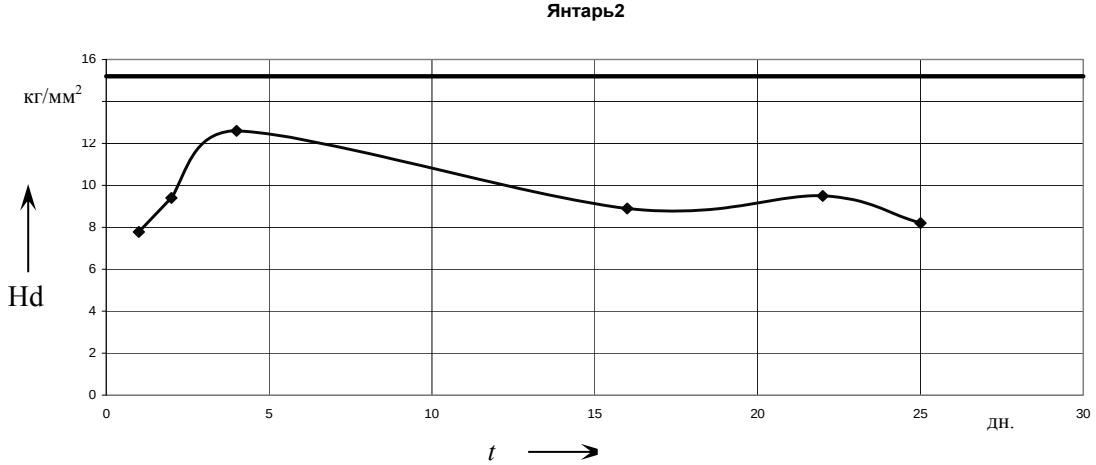


Рис. 5. Зависимость изменения микротвердости янтаря от времени, прошедшего после прекращения облучения: 1 – необлученный янтарь; 2 – после облучения

Результаты представленных исследований позволяют применять рассматриваемые технологии для повышения пластичности образцов с целью улучшения их обрабатываемости.

На рис. 6 представлена зависимость относительного изменения микротвердости электролитического никеля от времени, прошедшего после прекращения облучения. Показано, что выявленные осцилляции могут приводить как к упрочнению материалов, так и к их разупрочнению в зависимости от режима облучения. Сильное влияние на величину микротвердости оказывает степень исходной фазовой неоднородности облучаемых образцов. Повышение фазовой неоднородности приводит, как правило, преимущественно к упрочнению образцов во всем исследуемом интервале времени.

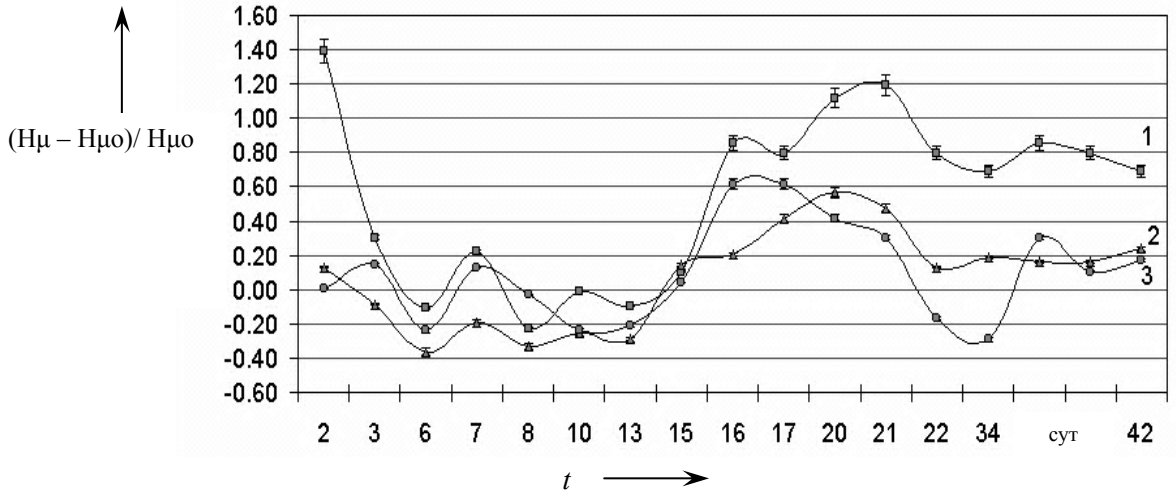


Рис. 6. Зависимость относительного изменения микротвердости электролитического никеля от времени, прошедшего после прекращения облучения, при различных режимах облучения: 1 – U = 2,5 кВ, время обработки t = 90 мин; 2 – U = 2,5 кВ, время обработки t = 45 мин; 3 – U = 1 кВ, время обработки t = 45 мин

Совместно с предприятиями Германии выполнены измерения изменений микротвердости нержавеющих сталей после обработки их низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда. Все измерения проводились непосредственно на одном из предприятий Германии. Подтверждены общие закономерности кинетики изменения микротвердости, установленные на быстрорежущих сталях и твердосплавных режущих элементах. Следует обратить внимание на изменение микротвердости образцов, предварительно обработанных по методу колстеризации (разработанному профессором Колстером, Нидерланды). Показано, что на колстеризованных образцах после облучения плазмой тлеющего разряда можно повысить или понизить имеющуюся начальную микротвердость в зависимости от режима облучения.

Осцилляции электрического сопротивления с течением времени после прекращения облучения наблюдались авторами при измерении образцов из технической меди (рис. 7). Следует отметить, что в целом электросопротивление образцов после облучения понижается, что противоречит факту повышения плотности дислокаций и, следовательно, свидетельствует о включении дополнительных способов переноса тока в облученных образцах. Представленные результаты не могут быть объяснены исходя из традиционных представлений физики радиационных дефектов. В работе с помощью программы TRIM-92 рассчитаны пробеги ионов кислорода, азота и водорода, а также энергетические потери ионов при электронном и ядерном торможении как в однокомпонентном материале α-Fe, так и в многокомпонентных мишенях из твердого сплава Т15К6. Показано, что ионная имплантация не может привести к дальнодействующей модификации материалов твердых тел.

Для объяснения данного явления необходимо принять во внимание нелинейные эффекты нарушения трансляционной симметрии кристаллических решеток во время бомбардировки поверхности твердых тел заряженными частицами. Предлагается гипотеза, базирующаяся на идее возбуждения нелинейных колебаний в кристаллических решетках, которые приводят к действию самоорганизационных процессов в ионной подсистеме облученных металлов и, как следствие, к

образованию новых структурных коллективных состояний атомов кристаллических решеток на мезоуровне.

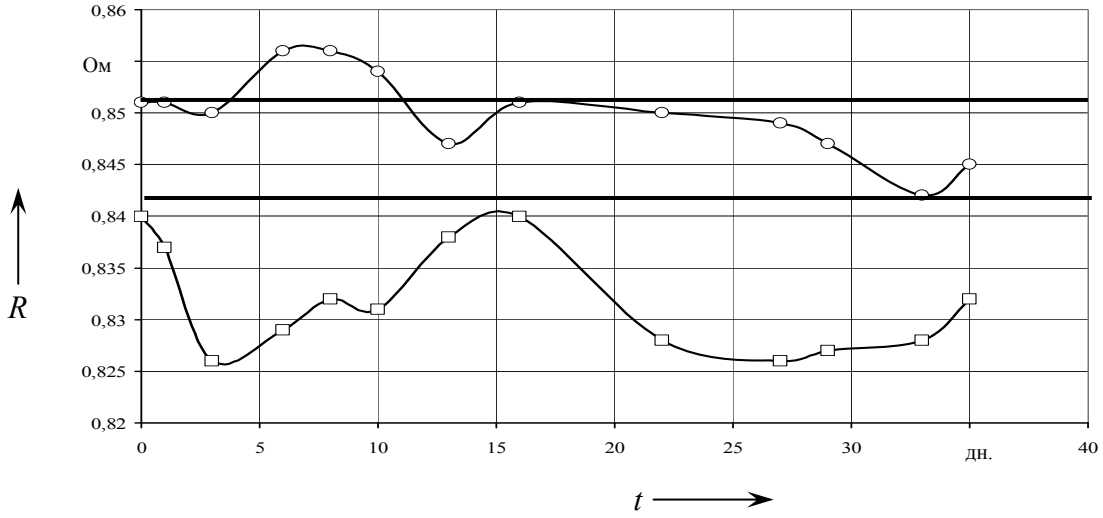


Рис. 7. Зависимость электросопротивления технической меди от времени, прошедшего после прекращения облучения, U = 2,5 кВ: 1 – облученный образец; 2 – необлученный образец (1, 2 – измерения при 20 ^{0}C); 3 – облученный образец; 4 – необлученный образец (3, 4 – измерения при 90 ^{0}C)

Проведено компьютерное моделирование процесса релаксации в трехмерных и одномерных кристаллических решетках после внешнего низкоэнергетического воздействия, представленного в виде беспорядочного ионного потока, а также единичного ионного удара. При этом исследовалась динамическая реакция системы атомов твердого тела как сложной нелинейной системы на внешнее низкоэнергетическое воздействие.

Показано, что к моменту времени, когда нелинейные колебания прекращаются, атомы кристаллической решетки мишеней стабилизируются в новых позициях. Время стабилизации на несколько порядков выше, чем время обычных атомных релаксаций. В результате формируются новые долгоживущие метастабильные структурные состояния кристаллической решетки. Формируется целый спектр новых коллективных состояний атомов в решетках после затухания нелинейных колебаний. Конкретный вид этих новых гетерогенных структур зависит от потенциала, характеризующего связи между атомными осцилляторами, и величины внешнего возбуждения. В зависимости от типа потенциала или типа облучаемого вещества меняются коэффициенты нелинейностей и, следовательно, дополнительные состояния в многоямных потенциалах, характеризующих межатомные связи. В частности, для потенциала Морзе с параметрами нелинейности, рассчитанными для α-Fe, показано, что после внешнего низкоэнергетического воздействия в нелинейных решетках образуются солитоны, движущиеся вдоль определенных атомных цепочек. На рис. 8 представлены результаты вычислительного эксперимента, описывающие зависимость случайно выбранного атома кристаллической решетки (см. рис. 1, атом 63) от времени, прошедшего после прекращения облучения в плазме тлеющего разряда. Следует отметить, что незатухающие пульсации при движении солитона передаются на достаточно большую глубину от облученной поверхности. В реальном кристалле аналогом солитонов являются дислокации. Следовательно, в рамках

нелинейной теории находит объяснение экспериментально выявленный факт повышения плотности дислокаций на достаточно больших расстояниях от поверхности облучения.

Смещение атомов в конечном состоянии есть результат нелинейных коллективных колебаний всех атомов решетки после низкоэнергетического воздействия. Таким образом, путем слабого внешнего воздействия можно вызвать внутренние процессы усложнения систем с образованием новых долгоживущих структурных состояний. При этом в течение достаточно длительного времени решетка представляет собой активную зону.

Результаты вычислительного эксперимента для большого количества атомов показывают, что конечное состояние кристаллической решетки, облученной плазмой тлеющего разряда, есть высокофрагментированная структура.

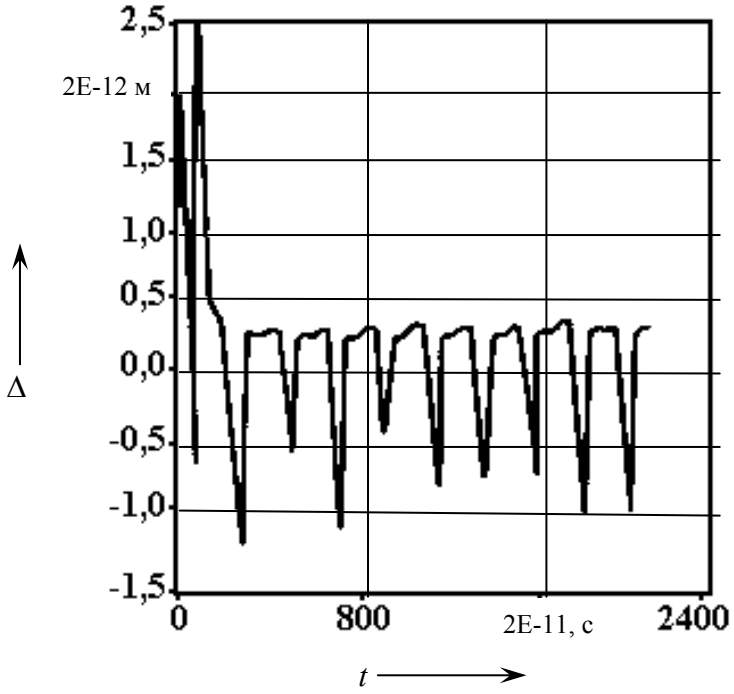


Рис. 8. Зависимость смещения атома, находящегося внутри облученной кристаллической решетки, от времени, прошедшего после прекращения облучения. Незатухающие пульсации представляют собой бегающий солитон

В цепочке возбуждаются нелинейные колебания; в результате все атомы стабилизируются в новых положениях, которые можно интерпретировать как образование новых долгоживущих метастабильных групп нанокластеров.

Выражаем благодарность за проведение исследований по электронной микроскопии сотрудникам ТГСА г. Томск проф. Э. В. Козлову и доц. Н. А. Поповой.

Выводы

1. Обработка металлов и сплавов низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда приводит к повышению дислокационной плотности на глубину, значительно превышающую проективный пробег ионов от поверхности мишени. Это явление определено как эффект дальнодействия.

2. Под действием потока низкоэнергетических ионов изменяются физико-механические свойства облученных материалов, и эти изменения не могут быть объяснены в рамках классической физики радиационных дефектов твердого тела.

3. Низкоэнергетическое ионное облучение кристаллических решеток плазмой тлеющего разряда приводит к нелинейным колебаниям атомных осцилляторов, и в результате образуются новые метастабильные долгоживущие структуры решеток, включая наноразмерные кластеры.

4. Низкоэнергетическое облучение в плазме тлеющего разряда может быть использовано для создания новых технологий целенаправленного управления поведением материалов и элементов конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Tereshko, I. V.** Self Organizing processes in metals by Low-energy ion beams / I. V. Tereshko, V. I. Khodyrev, E. A. Lipsky // Nucl. Instr. And Meth. In Phisics Research NIMB. – 1993. – B 80/81. – P. 115–117.

2. The formation of nanoclusters in metals by the low-energy ion irradiation / I. V. Tereshko [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2007. – V. 201. – P. 8552–8556.

3. Nanostructural evolution of steel and titanium alloys exposed to glow discharge / I. V. Tereshko [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2007. – V. 261. – P. 678–681.

4. Cell adhesion study of the titanium alloys exposed to glow discharge / V. Abidzina [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2007. – V. 261. – P. 624–626.

5. **Терешко, И. В.** Эффект дальнодействия в материалах при низкоэнергетическом ионном облучении / И. В. Терешко // Вестн. Нижегородского ун-та. Сер. Физика Твердого Тела. – 1998. – Вып. 2. – С. 131–139.

6. **Хакен, Г.** Синергетика / Г. Хакен. – М. : Мир, 1980. – 404 с.

7. **Николис, Г.** Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1977. – 512 с.

8. Формирование дефектной структуры при воздействии на металлы плазмы газового разряда / Э. В. Козлов [и др.] // Изв. вуз. Сер. Физика. – 1992. – № 1. – С. 14–19.

9. **Козлов, Э. В.** Изменения, вызванные низкоэнергетической плазмой в поверхностных слоях и объемные свойства металлов и сплавов / Э. В. Козлов, И. В. Терешко, Н. А. Попова // Изв. вуз. Сер. Физика. – 1994. – № 5. – С. 127–140.

10. Active Modification and Amorphisation of Materials by Low-Energy Ion Irradiation / I. V. Tereshko [et al.] // In : Application of Particle and Laser Beams in Materials Technology, Edit by Misaelides, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London. – 1995. – P. 595–602.

11. Materials modification by low-energy ion irradiation / I. V. Tereshko [et al.] // NIMB. – 1997. – V. 127/128. – P. 861–864.

12. Модификация материалов после низкоэнергетического ионного облучения в плазме тлеющего разряда / И. В. Терешко [и др.] // Быстрозакаленные материалы и покрытия : сб. тр. IV Всерос. с междунар. участием науч.-техн. конф., Москва. – 2005. – С. 210–215.

13. **Морозов, Н. П.** Глубокое проникновение радиационных дефектов из ионно-имплантированного слоя в объем полупроводников / Н. П. Морозов, Д. И. Тетельбаум // Физика и техника полупроводников. –1983. – Т. 17. – Вып. 3/31. – С. 95–102.

14. **Гольцев, В. П.** Радиационное нарушение структуры переходных металлов при ионном облучении / В. П. Гольцев, В. М. Анищик, В. В. Углов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 1983. – Вып. 1. – С. 52–53.

15. Эффекты дальнодействия в ионно-имплантированных металлических материалах / А. Н. Диденко [и др.]. – Томск : РАНБ, 2004. – 326 с.

16. **Овчинников, В. В.** Мессбауровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов / В. В. Овчинников. – М. : Физматлит, 2002. – 256 с.

17. **Быков, В. Н.** Эффекты дальнодействия при ионном облучении / В. Н. Быков, В. Г. Малынкин, В. С. Хмелевская // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 1989. – Вып. 3. – С. 45–52.

18. **Логвин, В. А.** Рациональное использование ресурса режущих инструментов – резерв повышения производительности / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–13 апр. 2011 г. – Минск : Бизнесофсет, 2011. – С. 117–119.

19. Режуще-формообразующий инструмент : пат. 7535 Респ. Беларусь, МПК B 26 D 1 / 00, C 21 D 1 / 78 / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, Е. В. Логвина, В. М. Никитин, С. В. Никитин ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № u 20110009 ; заявл. 10.01.11 ; опубл. 30.08.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 180.

20. Способ упрочнения изделий : пат. 15569 Респ. Беларусь, МПК C 23 C 14 / 8, C 23C 8 / 00 / В. А. Логвин, А. А. Жолобов, Е. В. Логвина ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № a 20100453 ; заявл. 22.03.10 ; опубл. 30.10.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – С. 27.

21. Фазовый состав и тонкая структура стали Р6М5 / Ю. П. Хараев [и др.] // Ползуновский альманах. – 2004. – № 4. – С.47–51.

22. **Eckstein, W.** Computer Simulation of Ion-Solids Interaction / W. Eckstein. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. – 1991. – 320 p.

Статья сдана в редакцию 15 октября 2012 года

Ирина Васильевна Терешко, канд. физ.-мат. наук, Белорусско-Российский университет.
Владимир Александрович Логвин, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0295-41-77-00.
Всеволод Петрович Редько, д-р физ.-мат. наук, проф. Белорусско-Российский университет.

Irina Vasilyevna Tereshko, PhD (Physics and Mathematics), Belarusian-Russian University.
Vladimir Aleksandrovich Logvin, PhD (Engineering), Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0295-41-77-00.
Vsevolod Petrovich Redko, DSc (Physics and Mathematics), Prof., Belarusian-Russian University.

УДК 621.791.753.0

А. И. Хабибуллин, Ф. Г. Ловшенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ДАВЛЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННОЙ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ МЕДИ

UDC 621.791.753.0

A. I. Khabibullin, F. G. Lovshenko

THE RESEARCH INTO FABRICABILITY OF MECHANICALLY ALLOYED DISPERSION-STRENGTHENED COPPER

Аннотация

Исследованы технологические особенности обработки давлением дисперсно-упрочненного медного сплава. Установлено, что разработанный материал обладает постоянной пластичностью в интервале температур от 20 до 800 ºС, а также низким деформационным упрочнением по сравнению с другими медными сплавами. Выявлен механизм пластической деформации разработанного материала в условиях неравномерного всестороннего сжатия.

Ключевые слова:

дисперсно-упрочненная медь, обрабатываемость, показатели пластичности, технология, рекристаллизационные процессы, механическое легирование.

Abstract

Technological features of pressure forming of a dispersion-strengthened copper alloy have been studied. The developed material is found to have constant plasticity in the temperature range from 20 to 800 ºC, and low deformation strengthening compared to other copper alloys. The mechanism of plastic deformation of the material developed during non-uniform compression is shown up.

Key words:

dispersion-strengthened copper, fabricability, plasticity indices, technology, re-crystallization processes, mechanical alloying.

Введение

Для изделий электротехнического назначения все более широкое применение получают дисперсно-упрочненные материалы на основе меди. При этом наиболее перспективным способом получения этих материалов является метод реакционного механического легирования. Механически легированная дисперсно-упрочненная медь (ДУМ), теория и технология производства которой разработаны и освоены в Белорусско-Российском университете [1, 2], представляет собой композиционный материал, состоящий из медной матрицы, в которой равномерно распределено до 5 % по объему наноразмерных частиц упрочняющей фазы, синтезированных при его производстве в результате протекания между компонентами шихты механически и термически активированных окислительно-восстановительных реакций. В качестве последней эффективны термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига, наиболее перспективными из которых являются оксиды, например, Al_2O_3.

Основа материала – низкоконцентрированный твердый раствор алюминия

© Хабибуллин А. И., Ловшенко Ф. Г., 2013

(Al ≤ 0,1 %) в меди имеет микрокристаллический тип структуры с размерами зерен ≤ 0,5 мкм, блоков ≤ 50 нм. Высокоразвитая поверхность границ зерен и субзерен стабилизирована наноразмерными включениями термодинамически стабильной фазы Al_2O_3 величиной менее 20 нм. Материал имеет комплексное упрочнение, сочетающее зернограничное, дисперсное и дисперсионное, и является наноструктурным. Приведенное строение обеспечивает низкую скорость протекания рекристаллизационных процессов, что определяет высокие значения твердости и прочности в широком интервале температур, верхнее значение которых достигает 850 ºС. При относительной электропроводности, равной 75 % от меди, дисперсно-упрочненная медь обладает следующими механическими свойствами: твердость НВ 200…220, предел прочности при растяжении $\sigma_в$ = 860…900 МПа, $\sigma_в^{500}$ = 400 МПа, относительное удлинение 2… 3 %, температура рекристаллизации 850 ºС. Материал по комплексу физико-механических свойств превосходит лучший классический электродный материал, которым является бронза БрХЦр, а также внутренне окисленную медь и дисперсно-упрочненный композиционный материал объединения «Уралэлектромедь», широко применяемые в сварочном производстве для изготовления электродов контактной точечной сварки и токоподводящих наконечников, используемых для сварки плавлением в среде защитных газов.

Перспективность предлагаемого материала по сравнению с бронзой БрХЦр в следующем: 1) высокие значения твердости и горячей твердости обусловливают снижение абразивного износа и адгезионных процессов; 2) в процессе сварки рекристаллизация и разупрочнение материала на контактных поверхностях происходят при температурах, превышающих аналог на 350 ºС; 3) при близких значениях основных теплофизических характеристик горячая прочность дисперсно-упрочненной меди значительно выше, что сдерживает процесс разрушения поверхности контакта из-за растрескивания и отторжения частиц материала в твердом состоянии под воздействием термоударов; 4) благодаря существенному измельчению зерна и торможению диффузионных процессов на рабочих поверхностях снижаются количество переносимого в дуге материала и потери вещества при испарении и разбрызгивании; 5) в связи с распределением катодных пятен на большей поверхности (они концентрируются на границах раздела фаз) затрудняется образование единой расплавленной области и значительно уменьшается эрозия контактов; 6) наличие 5 % по объему дисперсных частиц оксида алюминия приводит к существенному ухудшению условий смачивания и снижению эффекта прилипания брызг и сплавления с электродной проволокой.

Процесс изготовления ДУМ методом реакционного механического легирования относится к высоким технологиям, позволяющим получать изделия с уникальным комплексом свойств из недефицитных материалов при относительно простой технологии. Основные технологические этапы изготовления изделий из ДУМ включают в себя реакционное механическое легирование; холодное прессование и термообработку полученных дисперсно-упрочненных гранулированных композиций; экструзию прутков требуемого профиля; формообразование заготовок методами горячей объемной штамповки и, наконец, получение изделий с помощью механообработки.

Для крупносерийного и массового производства изделий электротехнического назначения из разработанного материала большое значение имеет его способность подвергаться обработке давлением. В связи с тем, что разработанная ДУМ обладает специфической структурой и особыми физико-механическими свойствами, ее технологиче-

ские свойства и методы обработки давлением должны иметь существенные отличия от традиционных.

Целью работы являлось определение показателей обрабатываемости давлением ДУМ и установление технологических особенностей этого процесса.

Методика исследования

Температурный режим деформации устанавливался на основании кривых, характеризующих зависимость пластичности от температуры, и при заданной скорости деформации. Диаграммы пластичности строились по результатам испытаний образцов на растяжение. Оценка механических свойств производилась по результатам высокотемпературных статических испытаний на растяжение на машине ИР 5143-200-11, при скорости 2,0 мм/мин. За показатели пластичности принимались сужение шейки и относительное удлинение образцов. Для построения диаграмм растяжения в диапазоне температур 20…800 ºС применялись пропорциональные цилиндрические образцы диаметром $d_0 = 10$ мм. Для определения температуры конца обработки давлением производилось прессование прутков диаметром 8 мм из экструдированных заготовок диаметром 25 мм, температура предварительного нагрева заготовок изменялась в диапазоне 350…800 ºС. Температура подогрева технологической оснастки составляла 500…600 ºС, скорость деформирования – 0,016 м/с. Из полученных прессованием прутков изготавливались пропорциональные разрывные образцы диаметром $d_0 = 5$ мм и определялись их физико-механические свойства.

Характеристики пластичности материала при свободной осадке определялись на цилиндрических заготовках диаметром 16 мм высотой 35 мм. Для установления зависимости пластичности от скорости деформирования проводилась операция свободной осадки вдоль оси заготовок, нагретых до 800 ºС, со скоростями деформирования 0,005…0,05 м/с в технологической оснастке, нагретой до 400 ºС. Пластичность оценивалась по появлению первой трещины в образце. Обратным выдавливанием получали глухое отверстие диаметром 10 мм. Исходными заготовками служили прутки круглого сечения диаметром 16 мм различной длины, нагретые до 800 ºС в трубной электрической печи. Операцию прошивки производили в штампе, нагретом до 400 ºС, в качестве смазки использовалась смазка «Литол-24».

Результаты исследования и их обсуждение

Пластичность материала и сопротивление деформации являются основными характеристиками, обусловливающими возможность обработки давлением и его технологичность. Пластичность, в отличие от сопротивления деформации, зависит от схемы напряженного состояния, поэтому предельные степени деформации значительно отличаются при разных схемах нагружения. Вследствие этого имеется множество показателей и методов характеристики пластичности [3–8]. Так как не существует единых общепризнанных методов оценки и определения пластичности и процессы ОМД имеют бесчисленные сочетания типоразмеров заготовок и оснастки, скоростей деформации и пр., в исследовании использовались показатели, устанавливаемые при простых схемах нагружения (сужение шейки и относительное удлинение) и технологические (критическое обжатие при прокатке, глубина выдавливания и т. п.). Кроме того, в указанных методах оценки пластичности металлов [3–8] учитывается только основная схема напряженного состояния и не принимается во внимание реальное напряженное состояние в зоне очага деформации, а мерой пластичности являются деформации, средние для всего деформируемого объема. Простые показатели, несмотря на то, что не выражаются в соответственных величинах и определяются при

схемах напряженного состояния, которые не встречаются в реальных процессах ОМД, позволяют установить температурный интервал максимальной пластичности и дают качественную оценку предельных степеней деформации при ОМД.

Как правило, для установления температурного режима обработки давлением используют диаграмму состояния сплава. Она позволяет определять максимальную температуру нагрева, не допускающую пережога, а также область однофазного состояния сплава, обеспечивающую максимальную пластичность. В случае с ДУМ для сохранения ранее достигнутого высокого комплекса физико-механических свойств максимальная температура нагрева ограничивается температурой начала рекристаллизации и, кроме того, материал должен оставаться в двухфазной области. Исходя из этих соображений, качественная оценка пластичности ДУМ производилась в области температур неполной холодной обработки давлением, т. к. в этом случае имелась возможность проводить пластическую деформацию при снижении сопротивления деформированию и в то же время без рекристаллизации сплава. Оценка механических свойств была сделана по результатам высокотемпературных статических испытаний [9] на растяжение, за показатели пластичности принимали сужение шейки и относительное удлинение образцов.

Результаты высокотемпературных статических испытаний на растяжение (рис. 1) позволяют заключить, что исследуемый материал обладает одинаковой пластичностью в рабочем интервале температур: относительное удлинение составляет 2,09…2,25 %, сужение поперечного сечения – 4,35…4,65 %. Сопротивление деформированию у разработанного материала значительно выше, чем у меди и типовых медных сплавов при любых температурах.

Диаграммы растяжения ДУМ в диапазоне температур 20…800 ºС имеют вид, характерный для хрупких материалов, не имеющих площадки текучести. Сравнив полученные кривые упрочнения ДУМ и типовые промышленные сплавы на основе меди (рис. 2…4) [10], можно сделать следующие выводы.

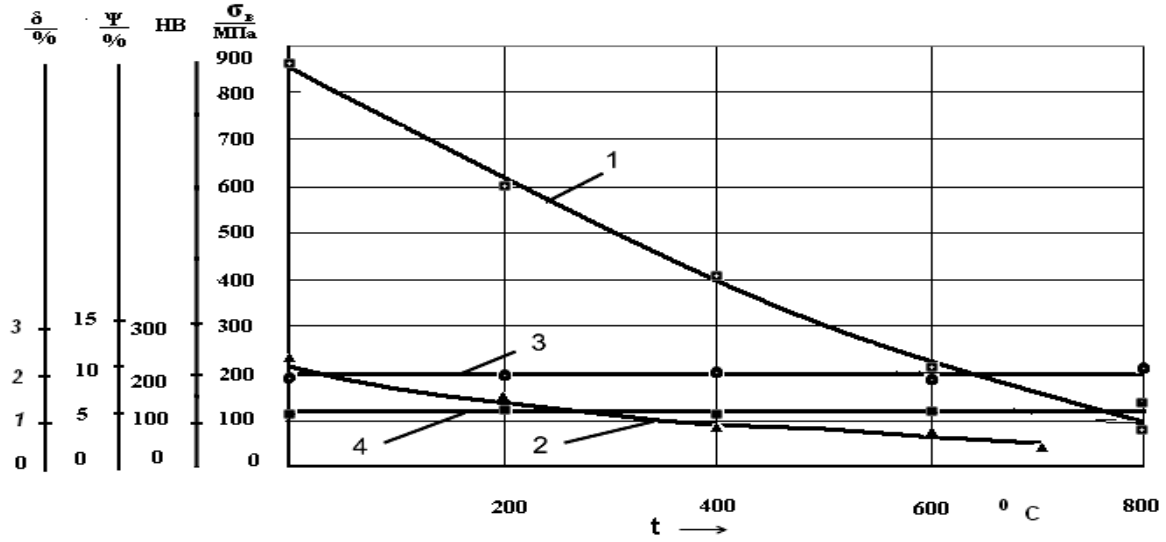


Рис. 1. Механические свойства ДУМ в зависимости от температуры испытаний: 1 – предел прочности; 2 – твердость; 3 – относительное удлинение; 4 – относительное сужение

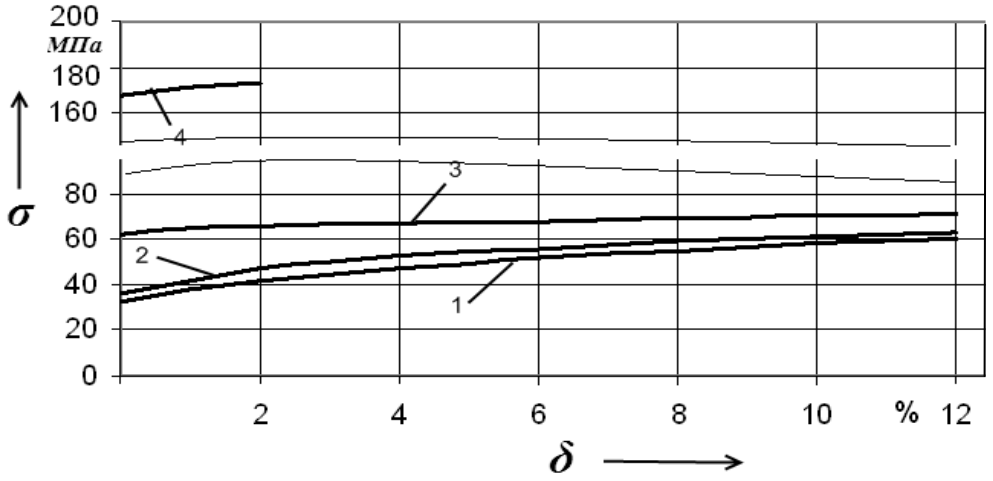


Рис. 2. Кривые упрочнения сплавов на основе меди при растяжении (температура 600 ºС): 1 – медь марки М2; 2 – бронза Бр А7; 3 – бронза Бр АЖН10-4-4; 4 – дисперсно-упрочненная медь

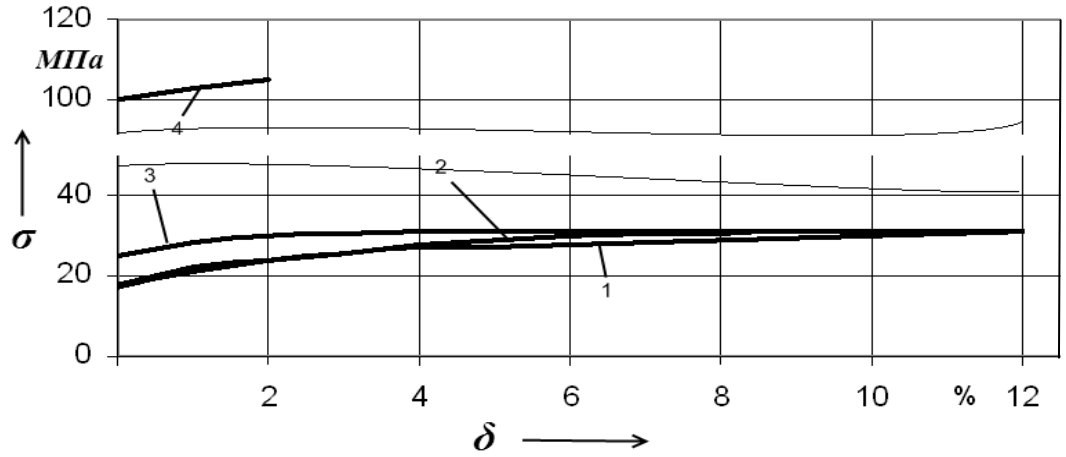


Рис. 3. Кривые упрочнения сплавов на основе меди при растяжении (температура 700 ºС): 1 – медь марки М2; 2 – бронза Бр А7; 3 – бронза Бр АЖН10-4-4; 4 – дисперсно-упрочненная медь

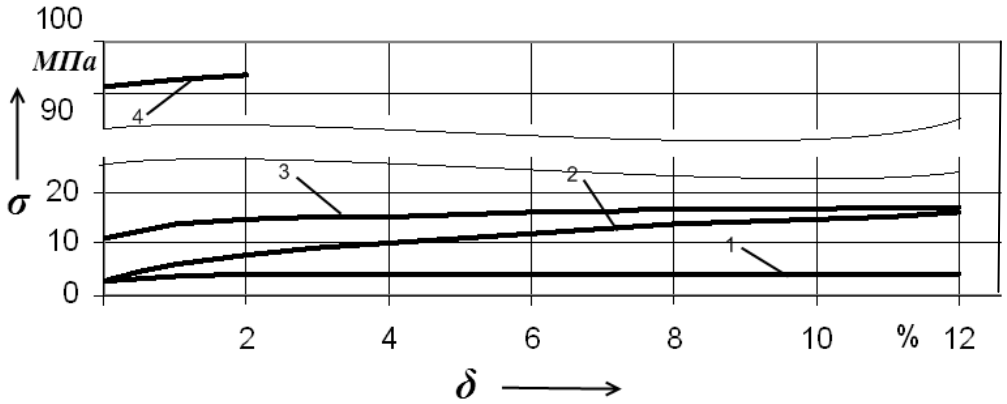


Рис. 4. Кривые упрочнения сплавов на основе меди при растяжении (температура 800 ºС): 1 – медь марки М2; 2 – бронза Бр А7; 3 – бронза Бр АЖН10-4-4; 4 – дисперсно-упрочненная медь

Относительное сопротивление деформации у ДУМ по сравнению с рассматриваемой группой сплавов возрастает по мере роста температуры. Высокая прочность, так же как и пониженная пластичность ДУМ, объясняется, с одной стороны, наклепом, приобретенным на стадии механического легирования, с другой – микрокристаллическим типом структуры матрицы с развитой поверхностью границ зерен и субзерен. Границы представляют собой существенное препятствие для перемещения дислокаций, причем дисперсные включения стабилизируют их до температур, достигающих 0,95 $T_{пл}$, что приводит к значительному повышению горячей прочности и препятствует развитию диффузионных процессов [1, 2]. Степень деформационного упрочнения разработанного материала при температурах испытания 600…800 ºС остается на одном уровне (около 1,05). Это явление объясняется высокой степенью наклепа, приобретенного в процессе механического легирования композиции, и отсутствием упрочнения при дальнейшей пластической деформации.

Эта особенность ДУМ обусловлена тем, что накопление дислокаций у препятствий (развитых границ зерен и наноразмерных частиц Al_2O_3) подавляет деятельность источников дислокаций, в том числе и механизм размножения Франка-Рида [7, с. 33].

Следующим этапом исследований являлось установление температурного интервала обработки давлением. В связи с тем, что признаки начала рекристаллизации ДУМ отмечаются при температурах нагрева свыше 800 ºС [1, 2], это значение было принято за температуру начала обработки давлением. Для определения температуры конца обработки устанавливалась зависимость физико-механических свойств материала от температуры обработки давлением. Для решения этой задачи производилась операция прессования прутков при различных температурах.

Полученные данные (рис. 5) позволяют сделать вывод, что при обработке давлением заготовок при температурах ниже 550 ºС наблюдается тенденция к монотонному снижению пластичности и прочности.

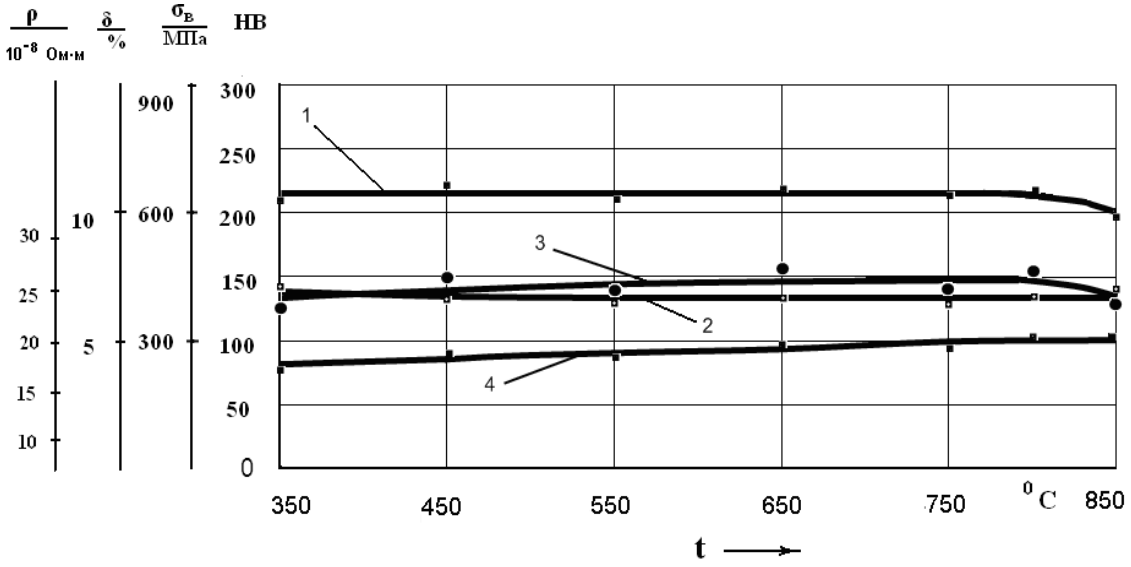


Рис. 5. Зависимость физико-механических свойств прутков от температуры прессования: 1 – твердость; 2 – удельное электросопротивление; 3 – предел прочности; 4 – относительное удлинение

При температуре ниже 350 ºС значительно возрастало усилие прессования и начинались поломки инструмента. При прессовании заготовок с температурой выше 800 ºС уменьшались прочность и твердость. В данном случае это обусловлено тем, что выдавливаемый материал нагревается в зоне деформации (калибровочного пояска матрицы) до температуры 870 ºС и выше, что приводит к развитию процесса рекристаллизации. Таким образом, температура начала обработки давлением ограничивается началом процесса рекристаллизации (850 ºС), а температура конца обработки – условиями прочности инструментальной оснастки.

В процессе испытаний установлены и другие простые показатели пластичности: допускаемая степень деформации при свободной осадке вдоль оси – до 56 %, угол гиба – 22…27º при радиусе гиба, равном диаметру прутка, угол закрутки – 15° при диаметре прутка 16 мм.

При оценке предельных деформационных возможностей новых материалов в конкретных процессах ОМД в [11] предлагается следующая схема оценки пластичности материалов:

– производят качественную оценку пластичности исследуемого материала в соответствующем интервале температур по результатам простых или технологических испытаний на пластичность;

– по результатам этих испытаний определяют возможность подвергать материал обработке давлением;

– при необходимости путем приближенного моделирования конкретного процесса ОМД определяют участок начала разрушения в очаге деформации и факторы, влияющие на него;

– непосредственным моделированием заданного процесса ОМД, соблюдая условия подобия по факторам, оказывающим влияние на пластичность, и расположение опасной зоны, определяют предельные по пластичности режимы деформации.

Для крупносерийного производства электродов контактной точечной сварки наиболее необходимой операцией обработки давлением является выдавливание каналов охлаждения. Обычно обрабатываемость материала пластической деформацией при объемной штамповке оценивается применительно к определенной операции группой показателей [3–8] и является понятием относительным. Как правило, испытания на штампуемость сводятся к проведению технологической пробы.

Показатели технологической пластичности, полученные моделированием основной схемы напряженного состояния без учета условий геометрического и физического подобия, могут быть использованы для качественной оценки предельных деформационных возможностей материала в соответственном процессе ОМД.

Для определения возможности получения отверстий, необходимых при изготовлении электродов контактной точечной сварки методами горячей объемной штамповки, были проведены технологические пробы операции прошивки (обратное выдавливание).

Для установления предельной глубины выдавливаемых каналов в полых изделиях, получаемых обратным выдавливанием, использовалась методика, разработанная авторами на основе положений теории конечных деформаций [12–14] с учетом технологических особенностей разработанного материала. Согласно проведенным расчетам [15] предельная глубина выдавливания канала диаметром 10,0 мм в заготовках диаметром 16,0 мм, полученных из ДУМ, составляет 175 мм. В процессе экспериментального выдавливания отверстий указанной глубины при отсутствии нарушений температурного режима на наружной и внутренней поверхностях заготовок трещин не наблюдалось, деформационное упрочнение не отмечалось.

Такая, необычно высокая, пластичность при наличии схемы всестороннего неравномерного сжатия в совокупности с отсутствием деформационного упрочнения в условиях неполной холодной штамповки, согласно А. А. Бочвару, объясняется механизмом межзеренного скольжения, характерным для материала с микрокристаллической структурой, находящегося в состоянии высокой степени наклепа. Характерной структурной особенностью дисперсно-упрочненной меди является то, что микроструктура материала (размер и форма зерен) практически не изменяется в течение всего времени деформирования [16]. Постоянной остается плотность дислокаций в объеме зерен, не образуются полосы скольжения, не создаются сложные дислокационные структуры внутри зерен (диполи, петли, дислокационные стенки), не отмечается деформационное упрочнение [16]. Это указывает на то, что не происходит пересечения дислокаций в объеме зерен и внутри зерен не работают источники Франка-Рида. Эти структурные свойства обусловлены специфическим механизмом деформации – зернограничным проскальзыванием.

Подтверждением этой важной технологической особенности исследуемого материала является то, что он проявляет более высокие пластические свойства, чем другие медные сплавы при реализации схемы всестороннего сжатия.

Для определения усилий, необходимых для прошивки заготовок, использовалась методика [16], разработанная авторами на основе положений теории пластического течения [14] с учетом технологических особенностей разработанного материала. Максимальное расчетное усилие, действующее на пуансон с коническим торцом при выдавливании отверстия диаметром d = 10 мм в заготовке при температуре конца обработки давлением 700 ºС, составило 29 кН. Сопоставление результатов расчета усилий деформирования пуансоном с коническим торцом с экспериментальными данными, полученными при скорости деформирования 0,017 м/с, показало высокую сходимость (P = 31 кН). На рис. 6 представлен график зависимости усилия пресса от времени деформирования при выдавливании отверстия в заготовке из ДУМ, имеющей температуру начала обработки давлением 800 ºС и температуру конца обработки 650 ºС.

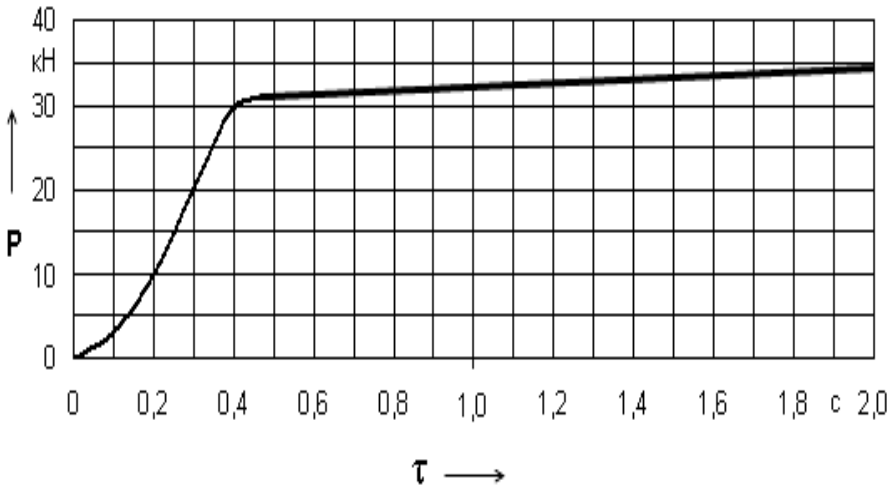


Рис. 6. Зависимость усилия пресса от времени деформирования

Проведенные расчеты позволили разработать технологический процесс обратного выдавливания глубоких полостей при изготовлении электродов для контактной точечной сварки и токоподводящих наконечников из дисперсно-упрочненной меди, повысить качество изделий, снизить на 20…30 % потери металла в стружку, значительно повысить производительность процесса и эксплуатационные свойства изделий.

Выводы

1. Исследованы технологические свойства ДУМ, характеризующие её обрабатываемость давлением в интервале температур от 20 до 800 °С. Установлено, что из-за микрокристаллической структуры матрицы с границами зерен, стабилизированными дисперсными включениями, пластическое деформирование ДУМ имеет ряд особенностей, заключающихся в следующем:

– сопротивление при деформировании дисперсно-упрочненной меди значительно выше, чем при деформировании других сплавов на основе меди;

– разработанный материал обладает следующими показателями пластичности: относительное удлинение — 2,09…2,25 %, сужение поперечного сечения – 4,35…4,65 %, допускаемая степень деформации при свободной осадке вдоль оси – до 56 %, угол гиба – 22…27º при радиусе гиба, равном диаметру прутка, угол закрутки – 15° при диаметре прутка 16 мм;

– показатели пластичности ДУМ при растяжении практически постоянны во всем исследованном интервале температур;

– в широком интервале степеней деформации ДУМ испытывает незначительное деформационное упрочнение, не превышающее 5 %.

2. Показано, что в соответствии с принятой классификацией обработка ДУМ давлением происходит в условиях неполной холодной деформации. Установлено, что нижний предел температурного интервала обработки ДУМ давлением ограничивается прочностью и стойкостью штампового инструмента и равен 450 °С, а верхний предел не должен превышать температуру начала рекристаллизации композиционного материала, которая равна 850 °С.

3. Выявлен механизм пластической деформации ДУМ в условиях неравномерного всестороннего сжатия и неполной холодной деформации, заключающийся в преимущественном зернограничном проскальзывании при деформировании ДУМ, что практически не изменяет степень упрочнения деформированного материала, размеры и форму зерен, позволяет производить в изделиях из ДУМ выдавливание глубоких отверстий без дополнительных переходов и промежуточных рекристаллизационных отжигов. Для указанных условий предельная глубина выдавливаемой полости за один переход составляет 17 диаметров пуансона.

4. Подтверждается универсальность положения А. А. Бочвара о возможности реализации межзеренного механизма пластической деформации при обработке давлением металлов и сплавов, обладающих микрокристаллической структурой, в том числе и дисперсно-упрочненных конструкционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ловшенко, Г. Ф.** Теоретические и технологические аспекты создания наноструктурных механически легированных материалов на основе металлов / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – 264 с.

2. **Ловшенко, Г. Ф.** Наноструктурные механически легированные материалы на основе металлов / Г. Ф. Ловшенко, Ф. Г. Ловшенко, Б. Б. Хина. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – 679 с.

3. **Громов, Н. П.** Теория обработки металлов давлением / Н. П. Громов. – М. : Металлургия, 1978. – 360 с.

4. **Губкин, С. И.** Пластическая деформация металлов : в 3 т. / С. И. Губкин. – М. : Металлургиздат, 1960. – Т. 1. – 376 с.

5. **Смирнов, В. С.** Сопротивление деформации и пластичность металлов / В. С. Смирнов, А. К. Григорьев, В. П. Пакудин. – М. : Металлургия, 1975. – 271 с.

6. **Северденко, В. П.** Теория обработки металлов давлением / В. П. Северденко. – Минск : Выш. шк., 1966. – 485 с.

7. **Сторожев, М. В.** Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 424 с.

8. **Куйбышев, О. А.** Пластичность и сверхпластичность металлов / О. А. Куйбышев. – М. : Металлургия, 1975. – 279 с.

9. **Хабибуллин, А. И.** Термомеханические параметры объемной штамповки дисперсноупрочненных медных сплавов / А. И. Хабибуллин, В. Ф. Пацей // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2006 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.] ; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т. – 2006. – Ч. 1. – С. 246.

10. **Полухин, П. И.** Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.

11. **Смирнов, В. С.** Сопротивление деформации и пластичность металлов / В. С. Смирнов, А. К. Григорьев, В. П. Пакудин. – М. : Металлургия, 1975. – 271 с.

12. **Воронцов, А. Л.** Анализ начальной стадии обратного выдавливания / А. Л. Воронцов // Статическая и динамическая прочность машиностроительных конструкций : межвуз. сб. науч. тр. – М. : ВЗМИ, 1986. – С. 100–104.

13. **Воронцов, А. Л.** Деформированное состояние заготовки при обратном выдавливании / А. Л. Воронцов // Изв. вузов. Машиностроение. – 1982. – № 3. – С. 113–117.

14. **Дмитриев, А. М.** Определение технологических параметров выдавливания полых цилиндрических изделий / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов // Справочник. Инженерный журнал. – 2002. – № 2. – С. 10–17.

15. **Хабибуллин, А. И.** Расчет предельной глубины выдавливания в заготовках из дисперсноупрочненной меди / А. И. Хабибуллин, Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т. – 2010. – № 1. – С. 95–103.

16. **Хабибуллин, А. И.** Особенности процесса обратного выдавливания заготовок, полученных из дисперсно-упрочненной меди / А. И. Хабибуллин, Ф. Г. Ловшенко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 84–91.

Статья сдана в редакцию 28 декабря 2012 года

Федор Григорьевич Ловшенко, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел. +375-296-25-21-26.

Александр Исмаилович Хабибуллин, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел. +375-293-34-55-94.

Fedor Grigoryevich Lovshenko, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-296-25-21-26.

Aleksandr Ismailovich Khabibulin, PhD (Engineering), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel. +375-293-34-55-94.

УДК 621.91.01

Д. Г. Шатуров, А. А. Жолобов, Г. Ф. Шатуров

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАШЕЧНОГО РЕЗЦА С ОБНОВЛЯЕМОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

UDC 621.91.01

D. G. Shaturov, A. A. Zholobov, G. F. Shaturov

THE STUDY OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CUP TOOL WITH A RENEWED CUTTING EDGE

Аннотация

Приведены результаты исследований по влиянию динамического прогиба оси заготовки на кинематические углы чашечного резца с микрообновляемой режущей кромкой. Получены аналитические зависимости для определения геометрических параметров инструмента и кинематических углов резца от параметров обработки и жесткости оборудования.

Ключевые слова:

передний угол, задний угол, угол наклона, режущая кромка, резец.

Abstract

The paper gives the results of the research into the influence of a dynamic deflection of the axis of a workpiece on kinematic angles of the cup tool with a micro-renewed cutting edge. Analytical dependences are received to determine geometric parameters of the tool and to optimize kinematic angels of a cutter depending on machining parameters and equipment rigidity.

Key words:

face angle, back angle, inclination angle, cutting edge, cutter.

Введение

В процессе обработки элементы технологической системы резания (ТСР), такие как передняя и задняя бабки станка, служащие опорами заготовки, и сама заготовка под действием собственного веса и силы резания упруго деформируются и перемещаются относительно лезвия инструмента, закрепленного в резцедержателе суппорта. Эти перемещения могут достигать нескольких десятых долей и оказывать влияние на кинематические параметры резца: углы наклона лезвия, передние и задние рабочие углы резца.

В известных ранее выполненных исследованиях [1, 2] не рассматривались вопросы влияния упругих деформаций элементов ТСР, возникающих при перемещении резца в процессе обработки вдоль оси вала, на кинематические параметры инструмента. В этой связи одной из задач настоящей работы и явилось проведение исследований по установлению этого влияния при обработке чашечным резцом с микрообновляемой режущей кромкой (МОРК) [3].

При определении рабочих углов использованы методики, изложенные в [4, 5].

В пределах угла контакта резца с заготовкой ψ были построены системы координат XYZ и $X_0Y_0Z_0$, первая из которых связана с заготовкой, а вторая – с

© Шатуров Д. Г., Жолобов А. А., Шатуров Г. Ф., 2013

резцом (рис. 1). Ось Z направлена обратно по отношению к скорости резания V, ось Y – перпендикулярно обрабатываемой поверхности в сторону расположения резца, а ось X – в направлении подачи S. Направление осей $X_0; Y_0; Z_0$ – касательно и перпендикулярно режущей кромке.

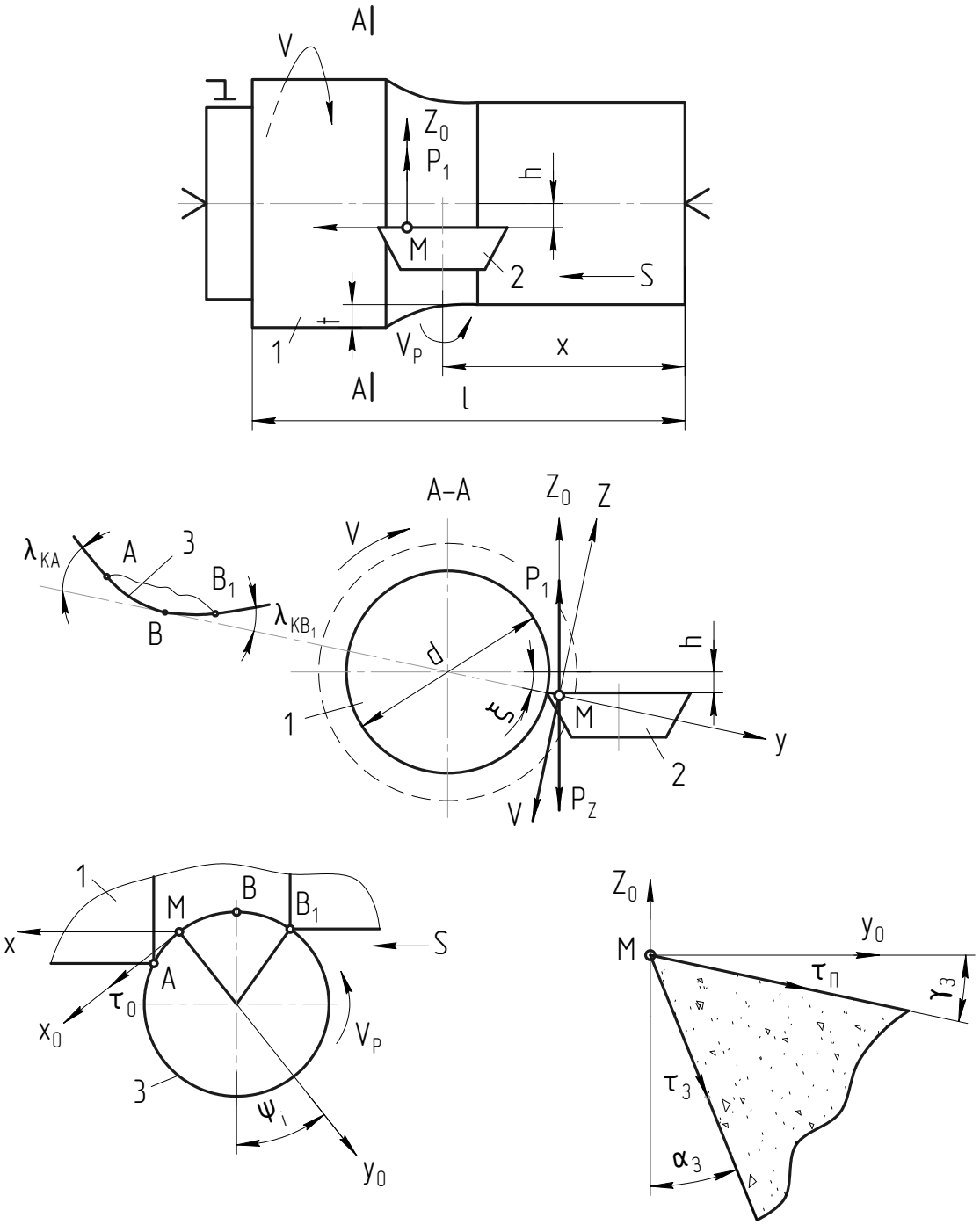


Рис. 1. Схема расположения чашечного резца с микрообновлением режущей кромки при обработке (прямая схема резания): 1 – заготовка; 2 – резец; 3 – режущая кромка

В процессе обработки ось заготовки вместе с ее опорами (передней и задней бабками станка) под действием тангенциальной силы P_z резания упруго деформируется и перемещается вверх относительно вершины – точки B чашечного резца (см. рис. 1). В результате упругих деформаций элементов ТСР плоскость режущей кромки (РК) чашечного резца располагается ниже оси вала на величину h.

$$h = P_z\omega_{зб}\left(1-\frac{x}{l}\right)^2 + P_z\omega_{пб}\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{P_z l^3}{3EJ}\left(\frac{x}{l}\right)^2\left(1-\frac{x}{l}\right)^2, \quad (1)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, действующая, соответственно, на заготовку и резец, $\overline{P}_z = -\overline{P}_1$; $|P_z| = |P_1|$; h – величина смещения оси вала относительно вершины резца или плоскости режущей кромки; x – расположение геометрической оси РК относительно правого торца вала; l – длина вала; E – модуль упругости материала заготовки, $E = 2\cdot 10^6$ кг/см^2; J – момент инерции сечения вала, $J = 0{,}05d^4$; d – диаметр обработанной поверхности заготовки; $\omega_{зб}, \omega_{пб}$ – податливость задней и передней бабок станка (опор заготовки) соответственно.

Система координат $X_0Y_0Z_0$ получается из первоначальной XYZ путём последовательных поворотов на углы ξ и ψ_i (см. рис. 1).

Тогда матрица преобразования, приводящая систему XYZ к системе $X_0Y_0Z_0$, примет вид:

$$E = \begin{vmatrix} x & y & z \\ \cos\psi_i & \cos\xi\sin\psi_i & \sin\xi\sin\psi_i \\ -\sin\psi_i & \cos\xi\cos\psi_i & \sin\xi\cos\psi_i \\ 0 & -\sin\xi & \cos\xi \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где ψ_i – центральный угол расположения рассматриваемой точки РК относительно вершины – точки B резца, $-\psi_1 \le \psi_i \le \psi$;

$$\xi = \arcsin\frac{2h}{d}. \quad (3)$$

Углы контакта ψ_1 и ψ находят из формул:

$$\psi_1 = \arcsin(S/2r);$$

$$\psi = \arccos(1 - t/r),$$

где ψ_1 и ψ – вспомогательный и основной углы контакта РК с заготовкой; r – радиус РК.

На кинематические параметры влияет пространственное расположение истинной скорости резания, которая равна:

$$\overline{V}_И = \overline{V}_{рд} + \overline{V}_р,$$

где $\overline{V}_{рд}$ – скорость рабочего движения резца, $\overline{V}_{рд} = -\overline{V}$; $|V_{рд}| = |V|$; $\overline{V}_р$ – линейная скорость перемещения режущей кромки; V – скорость резания.

Поскольку скорость $V_р$ перемещения РК резца с МОРК на пять порядков меньше скорости резания V [3], то она не оказывает существенного влияния на расположение вектора и величину истинной скорости резания и в дальнейшем не учитывается. Полагали, $\overline{V}_И = -\overline{V}_{рд} = |V|$.

В результате упругого смещения оси заготовки под действием тангенциальной составляющей P_z силы резания изменяется угол наклона λ режущей кромки. Угол наклона λ РК определяли

как угол между касательной $\overline{\tau}_0(1,0,0)$ к режущей кромке и плоскостью $P(x,y,z)$, перпендикулярной к вектору $\overline{V}_{рд}$ (оси MZ) и проходящей через начало координат (см. рис. 1).

$$P(x,y,z) = \sin\xi \sin\psi_i x + \\ + \sin\xi \cos\psi_i y + \cos\xi \cdot z = 0.$$

Тогда

$$\sin\lambda_k = \sin\xi \sin\psi_i, \qquad (4)$$

где λ_k – кинематический угол наклона режущей кромки.

Угол наклона λ_k (4) режущей кромки изменяется при перемещении резца вдоль оси заготовки в зависимости от изменения угла ξ или прогиба h, а по углу контакта лезвия с заготовкой – от положительного минимального значения в крайней точке B_1 до нулевого в вершине – точке B резца и до максимального положительного значения в точке A (см. рис. 1 и 2). Величина положительного угла λ_k на вспомогательной режущей кромке незначительна, однако данный угол играет существенную роль в формировании микрорельефа обрабатываемой поверхности. При положительном угле λ_k на вспомогательной РК вектор схода стружки будет совпадать с направлением подачи [6].

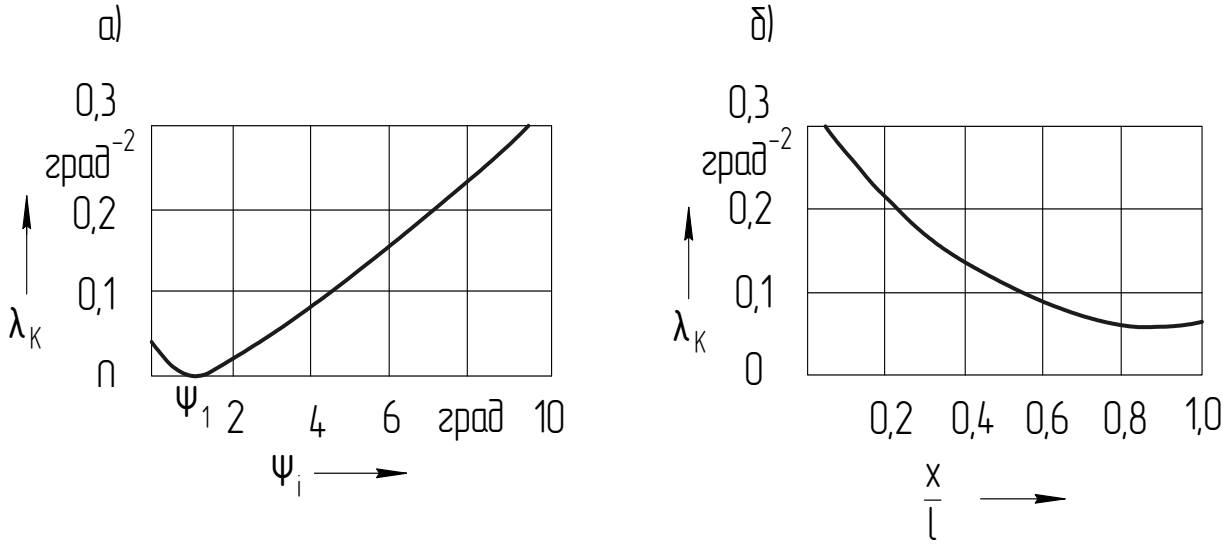


Рис. 2. Изменение кинематического угла наклона режущей кромки λ_k для крайней точки A контакта лезвия с заготовкой от местоположения резца по длине заготовки x/l и по углу контакта лезвия ψ_i: а – от местоположения резца; б – по углу контакта лезвия: $x/l = 0$; P_z = 500 Н; $\omega_{эб}$ = 0,3 мкм/Н; $\omega_{пб}$ = 0,6 мкм/Н; l = 1000 мм; d = 100 мм

Это улучшит качество обрабатываемой поверхности за счёт уменьшения касательных пластических деформаций металла обрабатываемой заготовки в направлении, обратном направлению подачи при окончательном формировании вершины микрорельефа [7]. Кроме того, при обработке прерывистых поверхностей в этом случае удар приходится не на вершину резца, а на другое, удалённое от вершины, место РК, что обеспечивает сглаживание ударных импульсов врезания.

Большое влияние на износ и стойкость инструмента и силовое воздействие резца и заготовки оказывают кине-

матические или рабочие углы резца, которые отличаются от углов его заточки. Так, уменьшение кинематических задних углов резца на 3° приводит к увеличению радиальной составляющей P_y силы резания в 2 раза [3]. Влияние прогиба оси заготовки на рабочие углы резца определяли по методике [4, 5].

Передний кинематический угол γ_k определяется как угол между касательной $\overline{\tau}_{\text{п}}\left(0;\cos\gamma_{\text{з}};-\sin\gamma_{\text{з}}\right)$ (см. рис. 1) к передней поверхности резца, проведённой перпендикулярно к режущей кромке, и плоскостью $P_1(x,y,z)$, перпендикулярной к вектору $-\overline{V}_{рд}$.

$$P_1(x,y,z) = -(\sin\xi\sin\psi_i \cdot x + \\ + \sin\xi\cos\psi_1 \cdot y + \cos\xi \cdot z) = 0.$$

Тогда

$$\sin\gamma_k = \cos\xi\sin\gamma_з - \sin\xi\cos\psi_i\cos\gamma_з, \quad (5)$$

где γ_k – кинематический передний угол резца; $\gamma_з$ – передний угол заточки резца.

Если в (5) положить $\xi = 0$, то $\gamma_k = \gamma_з$.

Задний кинематический угол α_k определяется как угол между касательной $\overline{\tau}_{\text{з}}\left(0;\sin\alpha_{\text{з}};-\cos\alpha_{\text{з}}\right)$ (см. рис. 1) к затылочной (задней) поверхности резца в нормальной к режущей кромке плоскости и плоскостью $Q(x,y,z)$, касательной к поверхности резания. Плоскость $Q(x,y,z)$ определяется единичными векторами $\overline{e}V_{рд}\left(\sin\xi\sin\psi_i;\sin\xi\cos\psi_i;\cos\xi\right)$ и $\overline{\tau}_0\left(1;0;0\right)$ (см. рис. 1).

$$Q(x,y,z) = \begin{vmatrix} x & y & z \\ \sin\xi\sin\psi_i; & \sin\xi\cos\psi_i; & \cos\xi \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0,$$

откуда

$$Q(x,y,z) = \cos\xi \cdot y - \sin\xi\cos\psi_i z = 0.$$

Тогда

$$\sin\alpha_k = \cos\xi\sin\alpha_з + \\ + \sin\xi\cos\psi_i\cos\alpha_з, \quad (6)$$

где α_k – кинематический задний угол резца; $\alpha_з$ – угол заточки задней поверхности резца.

При $\xi = 0$ угол $\alpha_k = \alpha_з$. На рис. 3 представлено изменение кинематических углов γ_k и α_k резца. Как по местоположению резца при обработке, так и по углу контакта ψ_i режущей кромки с заготовкой значения кинематических углов γ_k и α_k принимают экстремальные значения. При этом угол α_k увеличивается, а угол γ_k уменьшается при увеличении прогиба оси заготовки. Экстремальные значения углов [3] имеют место на расстоянии от правого торца заготовки, равном

$$\left(\frac{x}{l}\right)_0 = \frac{\omega_{зб}}{\omega_{зб} + \omega_{пб}},$$

и в вершине – точке B резца (см. рис. 1).

Поскольку величина углов γ_k и α_k по углу контакта изменяется незначительно, меньше 0,5 % (см. рис. 3), то зависимости для определения кинематических углов можно упростить, приняв $\psi_i = 0$.

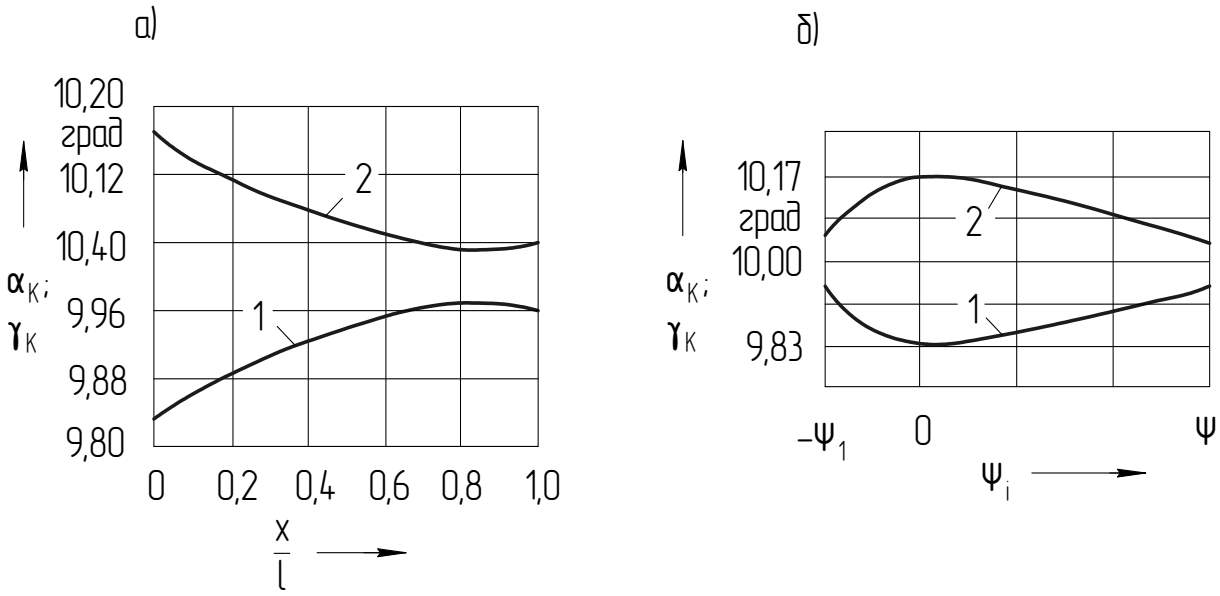


Рис. 3. Изменение кинематического переднего γ_k и заднего α_k углов чашечного резца для крайней точки A контакта лезвия с заготовкой: а – от местоположения резца; б – по углу контакта лезвия: x/l = 0; P_z = 500 Н; $\omega_{зб}$ = 0,3 мкм/Н; $\omega_{пб}$ = 0,6 мкм/Н; l = 1000 мм; d = 100 мм

Тогда, с учетом минимальных значений переднего γ_k и заднего α_k углов, имеющих место, соответственно, при x/l = 0 и x/l = 1,0, можно записать следующее:

$$\sin\gamma_k = \sin(\gamma_з - \xi); \qquad (7)$$

$$\sin\alpha_k = \sin(\alpha_з + \xi_1), \qquad (8)$$

где

$$\xi = \arcsin\left(\frac{2P_z\omega_{зб}}{d}\right);$$

$$\xi_1 = \arcsin\left(\frac{2P_z\omega_{пб}}{d}\right),$$

что значительно упрощает расчёты кинематических углов.

Отметим, что полученные зависимости пригодны для определения кинематических углов при обработке валов, например, суперкаландров с длиной стержня до 8000 мм и диаметром до 400…500 мм, имеющих статический прогиб, равный 3…4 мм (h = 3…4 мм). В этом случае величину углов ξ и ξ_1 необходимо брать с обратным знаком и определять при x/l = 0,5.

Таким образом, полученные аналитические зависимости позволяют на стадии проектирования технологического процесса спрогнозировать и осуществить оптимизацию геометрических параметров инструмента от принятых режимов обработки и жесткости ТСР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коновалов, Е. Г.** Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь. – Минск : Наука и техника, 1972. – 272 с.

2. **Бобров, В. Ф.** Резание металлов самовращающимися резцами / В. Ф. Бобров, Д. Е. Иерусалимский. – М. : Машиностроение, 1972. – 112 с.

3. **Шатуров, Г. Ф.** Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : Технопринт, 2001. – 460 с.

4. Некоторые вопросы кинематики ротационного точения / Е. Г. Коновалов [и др.] // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. – 1970. – № 3. – С. 37–46.

5. **Шатуров, Г. Ф.** Кинематика резания ротационными круглыми резцами / Г. Ф. Шатуров // Вестн. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. – 1977. – № 2. – С. 64–70.

6. **Аршинов, В. А.** Резание металлов / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – М. : Машиностроение, 1956. – 484 с.

7. **Бобров, В. Ф.** Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1962. – 149 с.

Статья сдана в редакцию 4 декабря 2012 года

Денис Геннадьевич Шатуров, инженер, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-67-98.
Александр Алексеевич Жолобов, канд. техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-23-04-51.
Геннадий Филиппович Шатуров, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-67-98.
.

Denis Gennadyevich Shaturov, engineer, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-67-98.
Aleksandr Alekseyevich Zholobov, PhD (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-23-04-51.
Gennady Filippovich Shaturov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-67-98.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 620.179.14

В. А. Новиков, А. В. Шилов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПЛЕНКИ, ВИЗУАЛИЗИРУЮЩЕЙ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ОБЛАСТИ ДЕФЕКТА

UDC 620.179.14

V. A. Novikov, A. V. Shilov

THE STUDY OF THE REFLECTION COEFFICIENT OF THE FILM VISUALIZING MAGNETIC FIELDS IN THE DEFECT ZONE

Аннотация

Установлены экспериментальные зависимости и определен характер изменения коэффициента отражения света в зоне индикаторных рисунков дефектов на визуализирующей магнитные поля пленке при магнитном контроле ферромагнитных объектов. Дефектоскопию образцов производили в приложенном поле, направленном параллельно контролируемой поверхности. Внешнее световое излучение было направлено перпендикулярно поверхности объекта и уложенной на нее пленки, визуализирующей магнитные поля. Образцы для исследований имели толщину 25 мм и содержали искусственные несплошности в виде профрезерованных канавок и цилиндрических отверстий, расположенных на различной глубине.

Ключевые слова:

магнитный контроль, дефекты сплошности, визуализация магнитного поля, коэффициент отражения света.

Abstract

Experimental dependences are received, and it is determined how the light reflection coefficient changes in the zone of indicator pictures of defects on the magnetic fields visualizing film used in the magnetic inspection of ferromagnetic objects. The defectoscopy of test samples was performed in the applied field directed parallel to the surface inspected. External light radiation was directed perpendicular to the surface of the object and the magnetic fields visualizing film placed on it. Test samples were 25 mm thick and had artificial defects of integrity in the form of milled grooves and cylindrical holes located at a different depth.

Key words:

magnetic inspection, defects of integrity, magnetic field visualization, light reflection coefficient.

В последние годы для неразрушающего контроля ферромагнитных объектов, с целью обнаружения в них дефектов сплошности, начали применять магнитную пленку, визуализирующую магнитные поля [1–5]. Пленка представляет собой немагнитную основу с закрепленными на ней миниатюрными капсулами с гелем, в которых находятся продолговатые частички никеля. В зависимости от своего расположения эти частички по-разному отражают падающий свет. Пленка светлеет, когда частицы располагаются параллельно ее поверхности, и темнеет, когда они ориентированы перпендикулярно.

© Новиков В. А., Шилов А. В., 2013

При дефектоскопии пленку укладывают на поверхность ферромагнитного объекта и намагничивают вместе с ним. Под действием полей рассеяния дефектов, находящихся в объекте, на пленке возникают их индикаторные рисунки, по присутствию которых судят о наличии дефектов в изделии. Метод контроля является индикаторным и не позволяет даже приближенно оценить величину несплошности по виду индикаторного рисунка дефекта. Поэтому разработка методики определения количественных характеристик индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля, в процессе неразрушающего контроля ферромагнитных объектов является важной и актуальной задачей.

В [6] приведены зависимости изменения коэффициента отражения света пленки, визуализирующей магнитные поля, в зоне индикаторных рисунков различных типов дефектов сплошности с учетом их параметров и глубины залегания. Расчет выполнен для случая, когда внешнее световое излучение направлено перпендикулярно поверхности пленки, а контроль ферромагнитных объектов осуществлялся в приложенном поле, параллельном контролируемой поверхности.

Целью работы является экспериментальное подтверждение результатов, полученных расчетным путем. Для определения влияния глубины залегания дефекта на характер изменения коэффициента отражения света в зоне индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля, использовали образец размерами 350×40×25 мм из стали Ст3 с отверстиями диаметром 2 мм, выполненными параллельно поверхности образца 350×40 мм на глубине от 2,5 до 22,5 мм с шагом 2,5 мм. Для определения влияния глубины дефекта с параллельными гранями, расположенными перпендикулярно контролируемой поверхности, на коэффициент отражения света от пленки в зоне дефекта применяли пластины толщиной 8 мм с дефектом шириной 1,6 мм и глубиной от 0,5 до 3 мм с шагом 0,5 мм.

Экспериментальная установка схематично изображена на рис. 1 и состоит из электромагнита 1 с П-образным сердечником, на котором располагается контролируемый образец 2 с уложенной на его поверхность пленкой 3, визуализирующей магнитные поля, светодиода 4, зеленого светофильтра 5 и конденсора 6, помещенных в корпус 8. Отраженное от пленки световое излучение 10 фиксировали при помощи цифрового фотоаппарата 7. Так как максимальная толщина ферромагнитных образцов с дефектами достигала 25 мм, то толщина полюсов электромагнита составляла 50 мм.

Фотографирование изображений индикаторных рисунков дефектов, возникающих на пленке, при намагничивании объекта контроля осуществляли в приложенном поле электромагнита. Чтобы исключить влияние посторонних источников светового излучения на результаты измерений, съемку производили в темном помещении. В процессе намагничивания магнитоноситель в зоне индикаторных рисунков дефектов фотографировали цифровой камерой в ручном режиме на чувствительности ISO 800. Предварительно фотоаппарат градуировали при помощи нейтрально-серых фильтров. Фотоаппарат располагали таким образом, что угол наблюдения составлял 12º, т. к. максимальное приращение коэффициента отражения пленки Δr_m в зоне индикаторных рисунков дефектов в диапазоне углов наблюдения $-40^\circ < \alpha < 40^\circ$ изменяется незначительно. Получали его цифровое изображение, из которого попиксельно считывали в массив значения интенсивности составляющей зеленого цвета. Тем самым получали величину, пропорциональную отраженному от пленки световому потоку Φ_r. Затем фотоаппарат устанавливали навстречу световому излучению и аналогично определяли вели-

чину, пропорциональную падающему световому потоку Φ_0. Строили графики зависимостей коэффициента отражения $r(x) = \frac{\Phi_r}{\Phi_0(x)}$ от расстояния поперек индикаторных рисунков дефектов.

На рис. 2 представлены экспериментально полученные графики зависимостей коэффициента отражения света пленки *r(x)* в зоне индикаторного рисунка цилиндрического дефекта диаметром 2 мм в образце от расстояния *x* до плоскости симметрии дефекта при глубине его залегания *h* = 5; 10; 15 и 20 мм. Режим намагничивания $H_0 \approx 300$ А/см.

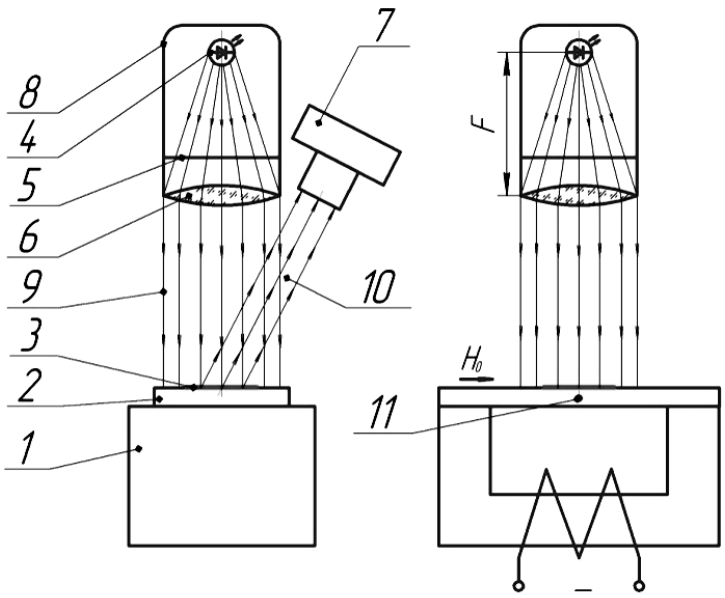


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (на виде сбоку фотоаппарат условно не показан): 1 – электромагнит с П-образным сердечником; 2 – контролируемый образец; 3 – пленка, визуализирующая магнитные поля; 4 – источник света; 5 – светофильтр; 6 – конденсор; 7 – цифровой фотоаппарат; 8 – корпус оптической системы; 9 – падающее световое излучение; 10 – воспринимаемое световое излучение; 11 – внутренний цилиндрический дефект

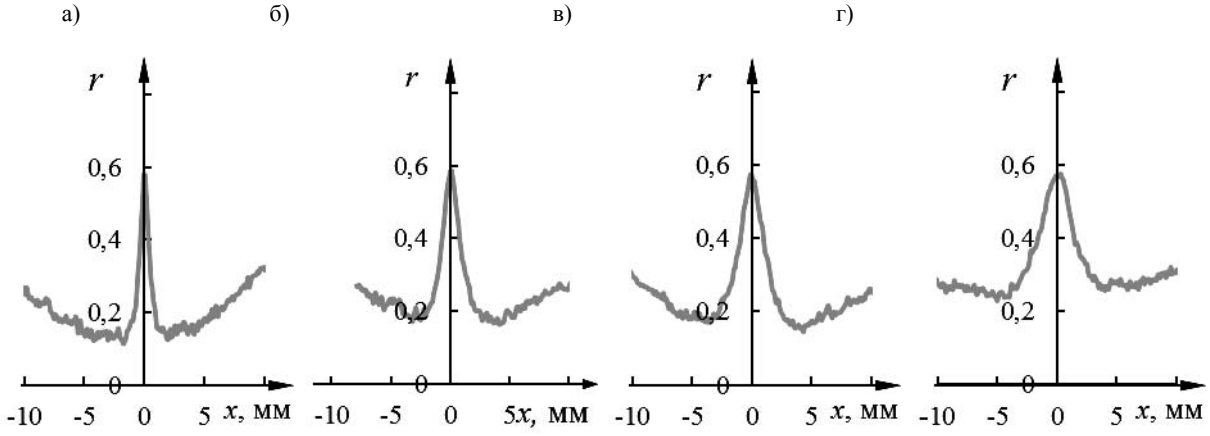


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения света визуализирующей магнитные поля пленки, расположенной на поверхности ферромагнитной пластины толщиной 25 мм в зоне индикаторного рисунка цилиндрического дефекта диаметром 2 мм, от расстояния *x* до плоскости симметрии дефекта и глубины *h* его залегания (режим намагничивания $H_0 \approx 300$ А/см; глубина залегания: а – *h* = 5 мм; б – *h* = 10 мм; в – *h* = 15 мм; г – *h* = 20 мм)

Из рисунков видно, что кривая *r(x)* имеет ярко выраженный симметричный максимум и два минимума, для которых значение r_{min} меньше величины коэффициента отражения для бездефектной поверхности. При этом ось симметрии максимума расположена в области, соответствующей центру дефекта.

Объясним результаты этих экспериментальных исследований. Если бы происходило полное отражение светового излучения от пленки, то на графиках зависимостей *r(x)* при отсутствии дефектов в объекте контроля наблюдали бы горизонтальную линию, т. е. отраженное световое излучение в этом случае было бы равно падающему. Разность значений *r(x)* при полном и реальном отражении светового излучения от пленки отражает его потери вследствие поглощения светового излучения пленкой и отражения некоторой ее части внутрь пленки.

Последнее подтверждается тем, что при приближении дефекта к наружной поверхности объекта на высоких режимах намагничивания происходит выравнивание участков кривой, находящихся по обе стороны ярко выраженного симметричного максимума (наблюдаются протяженные горизонтальные отрезки прямых вместо вогнутых кривых на рис. 3), что подтверждает результаты расчета [6]. Однако определить вклад рассеянного в пленку светового излучения в общие его потери – затруднительно.

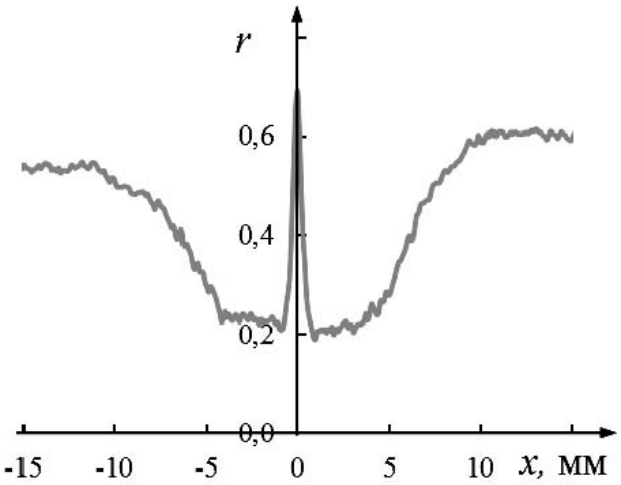


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения света на визуализирующей магнитные поля пленке, расположенной на поверхности ферромагнитной пластины толщиной 25 мм в зоне индикаторного рисунка цилиндрического дефекта диаметром 2 мм, находящегося на глубине 2,5 мм, от расстояния *x* до плоскости симметрии дефекта (режим намагничивания $H_0 \approx 300$ А/см)

Исследования показали, что с увеличением глубины залегания дефекта происходит уменьшение максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта (рис. 4). Это справедливо при различных режимах намагничивания. Однако по мере приближения дефекта к наружной поверхности образца рост Δr_m замедляется при напряженности поля более 150 А/см, а при приближении к внутренней поверхности замедляется убывание Δr_m при $H < 85$ А/см.

На рис. 5 представлены графики зависимости максимального приращения коэффициента отражения визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторных рисунков дефектов

диаметром 2 мм от напряженности намагничивающего поля при различной глубине залегания в пластине толщиной 25 мм. Из графиков видно, что с увеличением напряженности поля происходит рост Δr_m. Чем меньше глубина залегания дефекта, тем при меньшей напряженности поля наблюдается насыщение Δr_m.

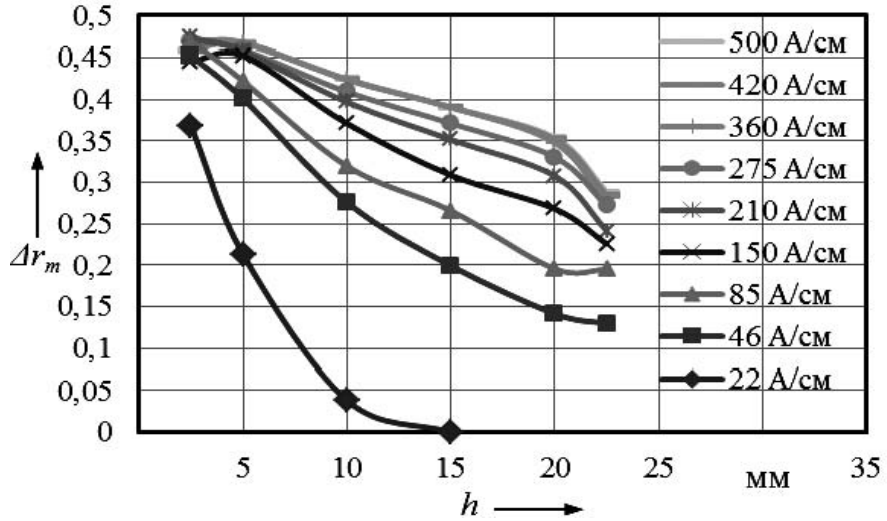


Рис. 4. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка отверстия диаметром 2 мм от глубины его залегания h в пластине толщиной 25 мм

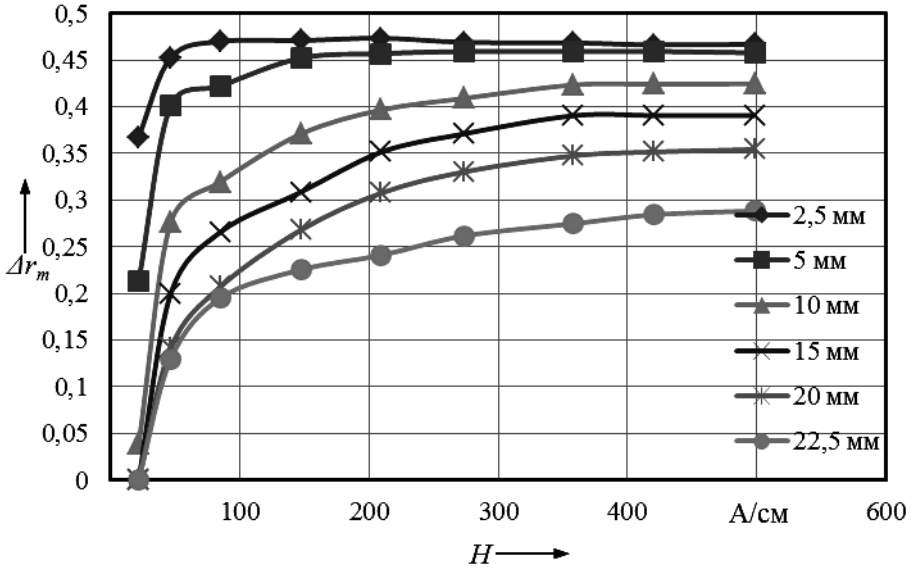


Рис. 5. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта диаметром 2 мм от напряженности намагничивающего поля для глубины залегания дефекта h = 5; 10; 15; 20 мм

На рис. 6, а изображена экспериментальная зависимость коэффициента отражения света *r(x)* пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности в виде прямоугольной щели от расстояния от центра дефекта в поперечном направлении (режим намагничивания H_0 = 300 А/см; толщина пластины s = 8 мм; ширина дефекта $2b$ = 1,6 мм; глубина h_d = 3,6 мм). Из рисунка видно, что характер изменения коэффициента отражения света на визуализирующей магнитные поля пленке, уложенной на ферромагнитную пластину, намагниченную параллельно ее поверхности, когда внешнее световое излучение направлено перпендикулярно поверхности пленки, аналогичен характеру изменения тангенциальной составляющей поля в зоне дефекта (рис. 6, б) на поверхности объекта при контроле в приложенном поле, параллельном контролируемой поверхности. Изменение коэффициента отражения света *r* пленки поперек дефекта имеет ярко выраженный симметричный максимум и два минимума по обе его стороны. Этот результат хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований [7, 8].

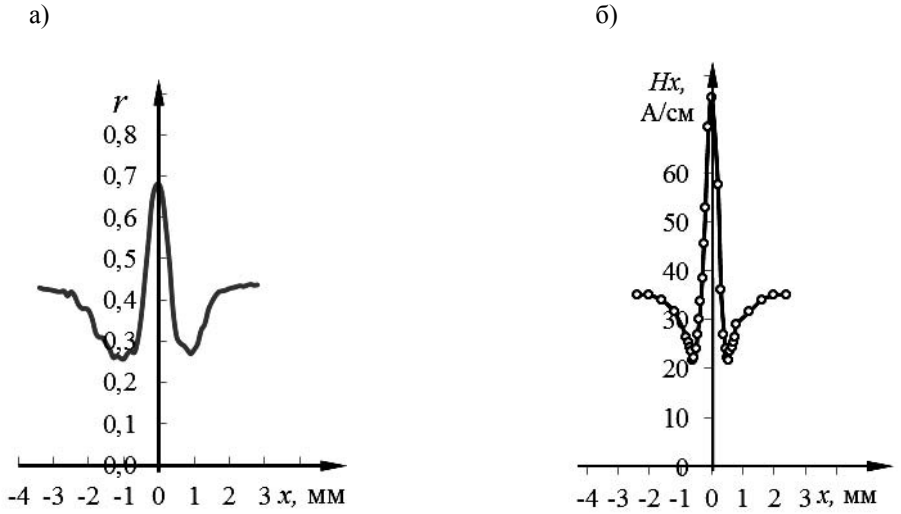


Рис. 6. Сравнение экспериментально полученного коэффициента отражения света на пленке в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности образца (а) и измеренной тангенциальной составляющей напряженности поля в зоне этого дефекта при контроле в приложенном поле, параллельном контролируемой поверхности (б) [9] (режим намагничивания H_0 = 300 А/см; толщина пластины s = 8 мм; ширина дефекта $2b$ = 1,6 мм; глубина h_d = 3,6 мм)

На рис. 7 представлены экспериментальные зависимости коэффициента отражения света *r* пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности в виде прямоугольной щели от расстояния от центра дефекта поперек несплошности. Толщина пластины составляла 8 мм, в ней были выполнены дефекты шириной 1,6 мм, глубиной от 0,5 до 3 мм с шагом 0,5 мм. Режим намагничивания H_0 = 300 А/см. Из рисунка видно, что с увеличением глубины дефекта происходит уменьшение значений $r_{\min}$ и значительное увеличение ширины $r_{\min}(x)$.

На рис. 8 представлены графики зависимостей максимального приращения коэффициента отражения пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта в зависимости от режима намагничивания для дефекта в виде профрезерованной канавки, расположенной на наружной

поверхности образца. Из рисунка видно, что при больших глубинах несплошностей с увеличением напряженности поля Δr_m в начале возрастает, а затем убывает. Эти результаты качественно подтверждают полученные ранее аналитические зависимости [6].

На рис. 9 показаны графики зависимостей максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности с параллельными гранями, глубиной h_d, равной 1; 1,5; 2; 2,5 и 3 мм, и шириной 1,6 мм от напряженности намагничивающего поля. Из рисунка видно, что с увеличением глубины дефекта происходит линейный рост Δr_m, причем, чем выше режим намагничивания, тем меньший угол наклона прямых.

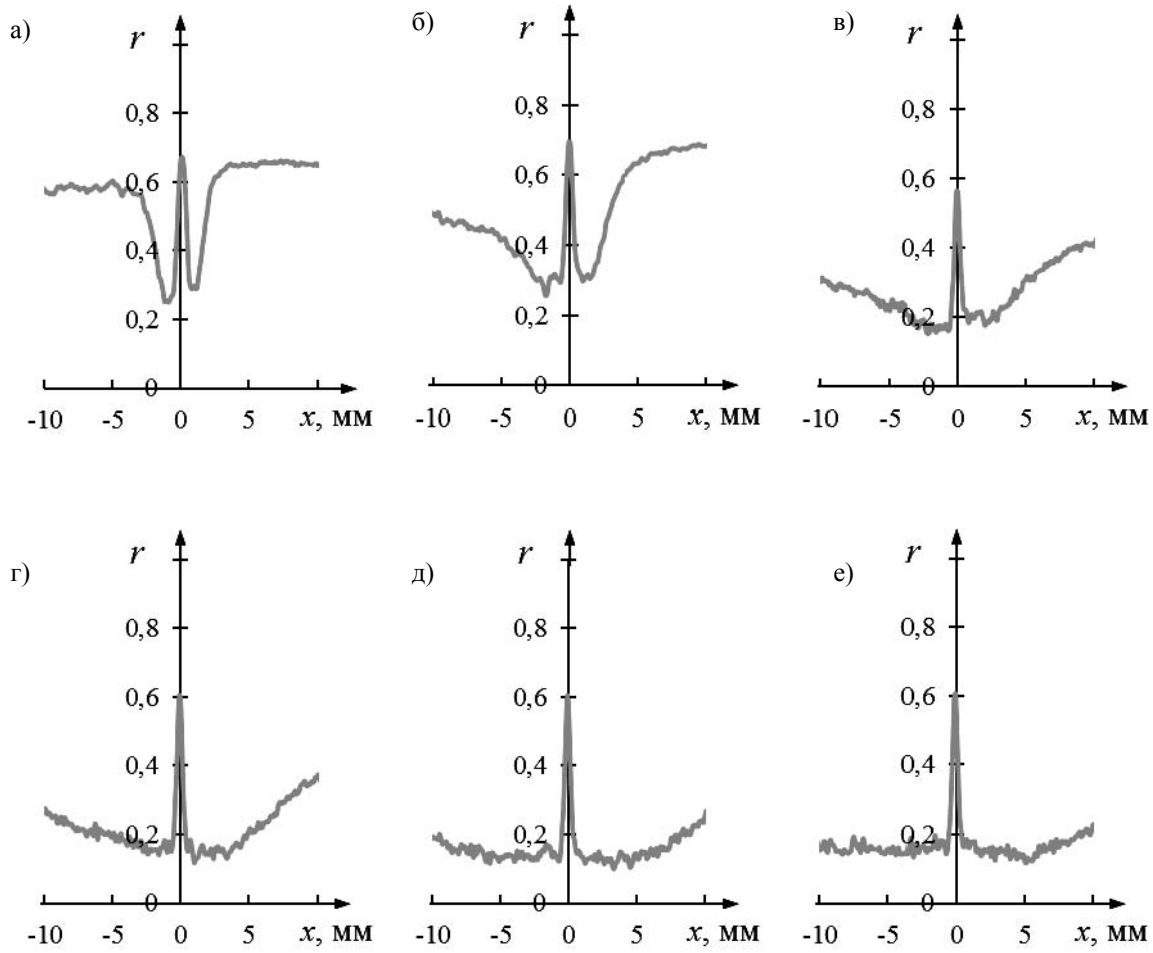


Рис. 7. Экспериментальная зависимость коэффициента отражения света на пленке в зоне индикаторного рисунка дефекта в виде профрезерованной канавки, расположенной на наружной поверхности ферромагнитного образца, от расстояния от центра дефекта поперек несплошности (режим намагничивания H_0 = 300 А/см; толщина пластины s = 8 мм; ширина дефекта $2b$ = 1,6 мм; глубина: а – h_d = 0,5 мм; б – h_d = 1 мм; в – h_d = 1,5 мм; г – h_d = 2 мм; д – h_d = 2,5 мм; е – h_d = 3 мм)

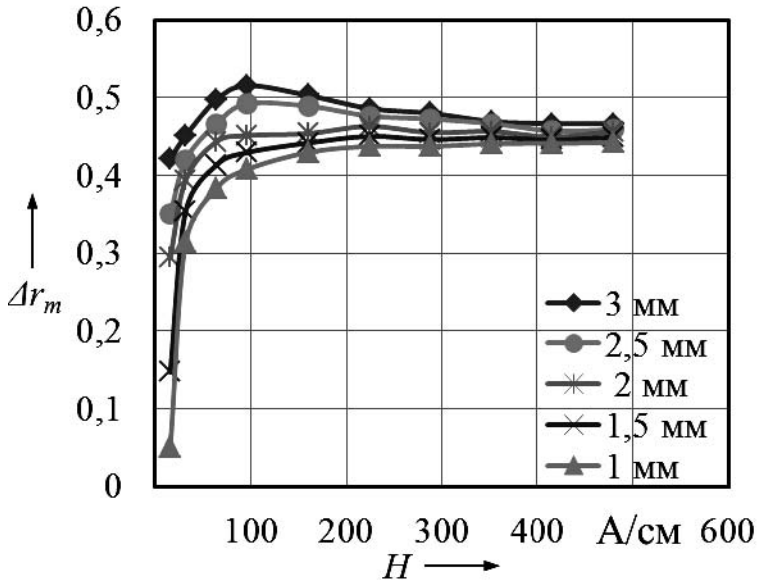


Рис. 8. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности с параллельными гранями, глубиной h_d, равной 1; 1,5; 2; 2,5 и 3 мм, от напряженности намагничивающего поля при ширине дефекта $2b$ = 1,6 мм

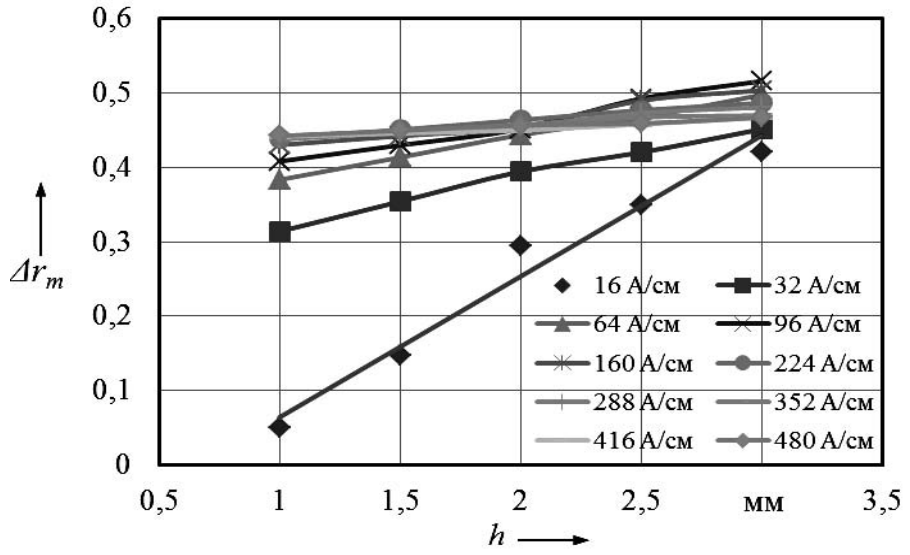


Рис. 9. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта наружной поверхности с параллельными гранями, глубиной h_d = 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм и шириной 1,6 мм от напряженности намагничивающего поля

На рис. 10 представлены экспериментальные зависимости коэффициента отражения света r на пленке в зоне индикаторного рисунка дефекта внутренней поверхности в виде прямоугольной щели от расстояния от центра дефекта поперек несплошности. Толщина пластины составляла 8 мм, в ней были

профрезерованы канавки шириной 1,6 мм, глубиной от 0,5 до 3 мм с шагом 0,5 мм. Режим намагничивания H_0 = 300 А/см. Из рисунка видно, что с увеличением глубины дефекта происходит увеличение ширины вогнутых участков кривой, находящихся по обе стороны ярко выраженного симметричного максимума.

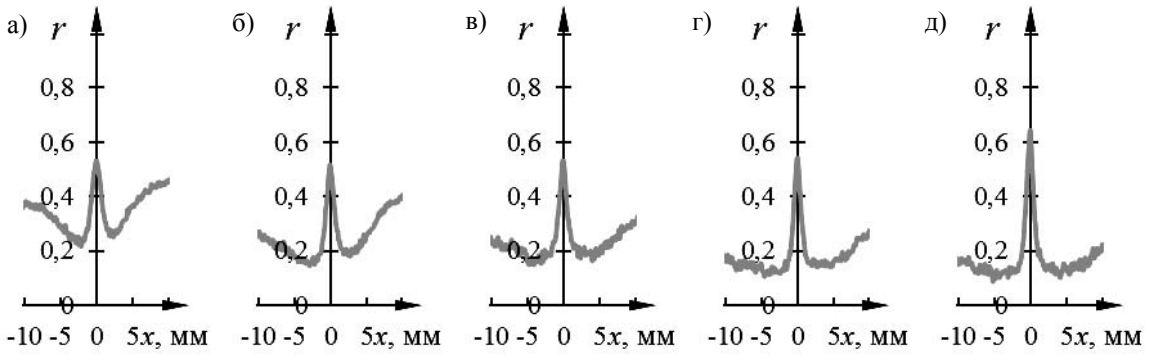


Рис. 10. Экспериментальная зависимость коэффициента отражения света r на пленке в зоне индикаторного рисунка дефекта внутренней поверхности в виде прямоугольной щели от расстояния от центра дефекта поперек несплошности (режим намагничивания H_0 = 300 А/см; толщина пластины s = 8 мм; ширина дефекта $2b$ = 1,6 мм; глубина: а – h = 1 мм; б – h = 1,5 мм; в – h = 2 мм; г – h = 2,5 мм; д – h = 3 мм)

Графики зависимостей $\Delta r_m(H)$ для дефектов внутренней поверхности аналогичны кривым, полученным для внутренних дефектов (рис. 11).

На рис. 12 построены номограммы, позволяющие определить глубину дефекта внутренней поверхности. В диапазоне напряженностей поля $64 < H < 480$ А/см эти зависимости имеют практически линейный характер.

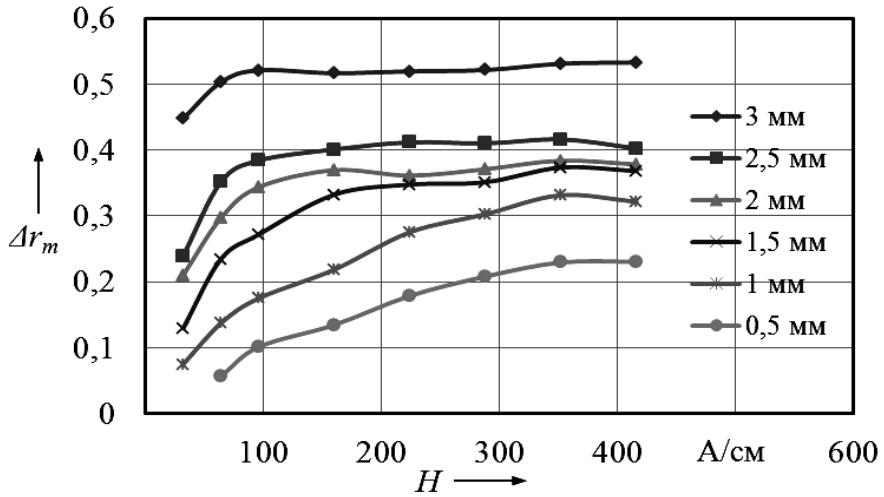


Рис. 11. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта внутренней поверхности с параллельными гранями, глубиной h = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм от напряженности намагничивающего поля

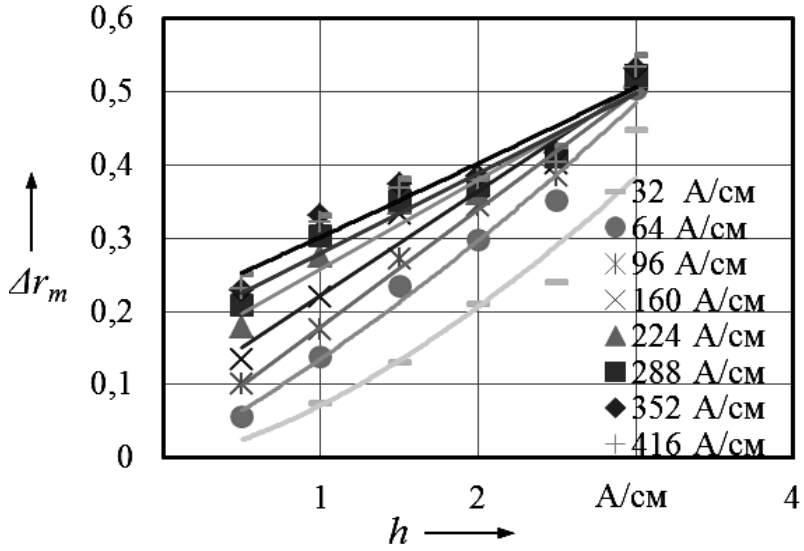


Рис. 12. Зависимость максимального приращения коэффициента отражения света Δr_m визуализирующей магнитные поля пленки в зоне индикаторного рисунка дефекта с параллельными гранями, находящегося на внутренней поверхности образца, от глубины дефекта при различных режимах намагничивания

Таким образом, в работе определен характер изменения коэффициента отражения света в зоне индикаторных рисунков дефектов на визуализирующей магнитные поля пленке для некоторых типов дефектов сплошности с учетом их величины и глубины залегания при контроле объектов в приложенном поле, параллельном поверхности объекта, когда внешнее световое излучение направлено перпендикулярно поверхности пленки.

Установлено, что характер изменения коэффициента отражения света на визуализирующей магнитные поля пленке аналогичен характеру изменения тангенциальной составляющей поля рассеяния дефекта на поверхности объекта: изменение коэффициента отражения света r от пленки поперек дефекта имеет вид ярко выраженного симметричного максимума с осью симметрии, проходящей через центр дефекта, и двух минимумов, глубина которых увеличивается с уменьшением глубины залегания дефекта. При этом значение $r_{\min}$ меньше величины коэффициента отражения на бездефектной поверхности.

С увеличением глубины залегания дефекта в пластине происходит уменьшение максимального приращения Δr_m в зоне его индикаторного рисунка. Это справедливо для различных режимов намагничивания. Однако по мере приближения дефекта к наружной поверхности образца рост Δr_m замедляется при напряженности поля более 150 А/см, а при приближении к внутренней поверхности замедляется убывание Δr_m, если $H < 85$ А/см.

С увеличением напряженности поля происходит рост Δr_m, обусловленный внутренним дефектом и дефектом внутренней поверхности в пластине толщиной 25 мм. Чем меньше глубина залегания внутреннего дефекта и больше глубина дефекта внутренней поверхности, тем при меньшей напряженности поля наблюдается насыщение Δr_m. Для несплошностей наружной поверхности глубиной больше 2 мм, с увеличением напряженности поля, Δr_m вначале возрастает, а затем убывает.

Построены номограммы, позволяющие определить глубину дефекта внутренней поверхности образца. В диапазоне напряженностей поля $64 < H < 480$ А/см эти зависимости имеют практически линейный характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новиков, В. А.** Визуализация полей дефектов ферромагнитных объектов с помощью пленки «Flux-detektor» / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 5. – С. 18–22.

2. **Шилов, А. В.** Количественная оценка индикаторных рисунков дефектов при визуализации их полей на магнитной пленке / А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 152–160.

3. **Шилов, А. В.** Количественная оценка индикаторных рисунков дефектов при визуализации их полей на магнитной пленке в приложенном поле / А. В. Шилов, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 160–168.

4. Перспективные направления магнитографической дефектоскопии в машиностроении / В. А. Новиков [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 76–86.

5. Исследование гистерезисных явлений в магнитной ленте и контролируемом металле с целью повышения достоверности магнитографического контроля металлоконструкций / В. А. Новиков [и др.] // Достижения физики неразрушающего контроля и технической диагностики : сб. науч. тр. – Минск : Ин-т прикладной физики НАН Беларуси, 2011. – С. 25–30.

6. Расчет коэффициента отражения пленки, визуализирующей магнитные поля, в области дефекта / В. А. Новиков [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 104–115.

7. **Щербинин, В. Е.** К расчету магнитостатического поля дефектов. II. Экспериментальная проверка основных расчетных закономерностей / В. Е. Щербинин, Н. Н. Зацепин // Дефектоскопия. – 1966. – № 5. – С. 50–59.

8. **Зацепин, Н. Н.** Магнитная дефектоскопия / Н. Н. Зацепин, Л. В. Коржова. – Минск : Наука и техника, 1981. – 208 с.

Статья сдана в редакцию 9 октября 2012 года

Владимир Алексеевич Новиков, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0292-45-26-19. E-mail: novikovva@tut.by.
Андрей Владимирович Шилов, начальник отдела инновационных технологий, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0297-46-81-23. E-mail: shilov@bru.by.

Vladimir Alekseyevich Novikov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0292-45-26-19. E-mail: novikovva@tut.by.
Andrei Vladimirovich Shilov, Head of the Innovation Technologies Department, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0297-46-81-23. E-mail: shilov@bru.by.

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 025.56-029:004.738.5+502/504:004.65

И. С. Сазонов, Т. К. Басинюк

ПРИРОДНАЯ СРЕДА И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ – ОБЪЕКТ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА БАЗЫ ДАННЫХ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В БЕЛАРУСИ» ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ ИМЕНИ ЯКУБА КОЛАСА НАН БЕЛАРУСИ

UDC 025.56-029:004.738.5+502/504:004.65

I. S. Sazonov, T. K. Basiniuk

NATURAL ENVIRONMENT AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT ARE THE OBJECT OF THE INFORMATION RESOURCE OF THE «ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT IN BELARUS» DATABASE OF THE YAKUB KOLAS CENTRAL SCIENCE LIBRARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Аннотация

Изложены возможности поиска при использовании электронных информационных ресурсов Центральной научной библиотеки НАН Беларуси в области экологии и природопользования, позволяющие найти требуемую информацию по поисковым полям, включающим фамилии авторов, УДК, тематический рубрикатор, ключевые слова и другие элементы библиографической записи базы данных «Экология и природопользование в Беларуси».

Ключевые слова:

природопользование, экология, природные ресурсы, информационный ресурс, библиография, флора, фауна, Чернобыльская авария.

Abstract

The paper presents the possibilities of search with the application of electronic information resources of the Yakub Kolas Central Science Library of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus in the field of ecology and nature management which enable finding relevant information by using search fields, including authors' names, UDC (Universal Decimal Classification), the topical subject authority, key words and other elements of bibliographic records of the «Ecology and Nature Management in Belarus» database.

Key words:

nature management, ecology, natural resources, information resource, bibliographic database, flora, fauna, Chernobyl accident.

© Сазонов И. С., Басинюк Т. К., 2013

Экология окружающей среды – один из основных факторов, оказывающих существенное влияние на здоровье людей и во многом определяющих перспективы жизни будущего поколения. Поэтому постоянный мониторинг и анализ изменений состояния экологической среды с использованием самых современных технических средств, включая космические, можно отнести к наиболее приоритетным задачам нашего времени. Исследования в этой области осуществляются в рамках национальных и международных программ. Так, например, в 7 Рамочной программе сотрудничества ЕС (FP7) из десяти выделенных тематических областей пять, включая «здоровье», «продукты питания, сельское хозяйство и биотехнологии», «окружающая среда (в том числе изменение климата)», «безопасность» и «космос», в той или иной мере связаны с экологией окружающей среды.

Данное обстоятельство подтверждает ставшую общепризнанной точку зрения о том, что для комплексного решения экологических проблем не всегда достаточно целенаправленных усилий и совершенного национального законодательства в этой области той или иной страны, но и его согласования с соответствующими законами граничащих стран и координации совместных действий. Для эффективного решения поставленных задач должны быть созданы и постоянно развиваться трансгосударственные системы контроля состояния окружающей среды, которые уже существуют и все более эффективно функционируют при Комитете Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды. В свою очередь, это создает предпосылки к развитию международного сотрудничества и разработке совместных проектов по охране окружающей среды.

С учетом актуальности экологических проблем и важности темы рационального использования природных ресурсов научно-библиографическим отделом Центральной научной библиотеки (ЦНБ) НАН Беларуси в конце прошлого столетия была начата работа по созданию и развитию базы данных (БД) в области природоведческой тематики: «Природа Беларуси» (1991–2001) и «Экология и охрана окружающей среды Беларуси» (2002–2009). За основу была взята существующая в настоящее время база данных «Экология и природопользование в Беларуси» с библиографическими записями за 2002 г. и последующие годы. Эта БД пополняется ежедневно в on-line режиме.

БД «Экология и природопользование в Беларуси» имеет многоотраслевую направленность и содержит библиографическую информацию о геологическом строении и полезных ископаемых, климате, поверхностных и подземных водах, почвах, растительном и животном мире, ландшафте Беларуси, антропогенных воздействиях, экологической обстановке, ответственности, безопасности, а также экологическом движении. Ее важной частью является информация по вопросам, связанным с правовой базой и международным сотрудничеством Беларуси в области экологии и природопользования. Это во многом предопределило значительный интерес к базе данных, информация о которой представлена на авторитетных международных конференциях в области библиотековедения в г. Судак (Крым) [1] и г. Санкт-Петербург [2].

В БД «Экология и природопользование в Беларуси» включены и выделены в отдельные подразделы сведения о публикациях, связанных с последствиями аварии на ЧАЭС и мерами по её ликвидации, результаты исследований этих последствий и мониторинга состояния и изменений окружающей среды. К важнейшей части созданной БД можно отнести информацию о состоянии особо охраняемых природных территорий Беларуси.

БД содержит более 22 тысяч записей с расширенными аннотациями к публикациям проблемно-ориентированной тематики. Документы природоведческой темы, входящие в БД, в полной мере отражают основные направления фундаментальных и прикладных наук исследований Республики Беларусь. Они разделены на следующие рубрики.

1. Биосферно-совместимое природопользование и охрана окружающей среды.
2. Геоэкология.
3. Метеорология и климатология.
4. Водные экосистемы.
5. Почвы.
6. Экология растительного мира.
7. Экология животного мира.
8. Природные и природно-антропогенные системы.
9. Экологическая обстановка в Беларуси.
10. Мониторинг состояния природной среды.
11. Особо охраняемые природные территории Беларуси.
12. Научно-популярная литература.
13. Справочная литература. Библиографические указатели.
14. Чрезвычайные ситуации природного характера.

Соотношение объемного содержания приведенных выше отраслевых разделов в БД «Экология и природопользование в Беларуси» показано на рис. 1.

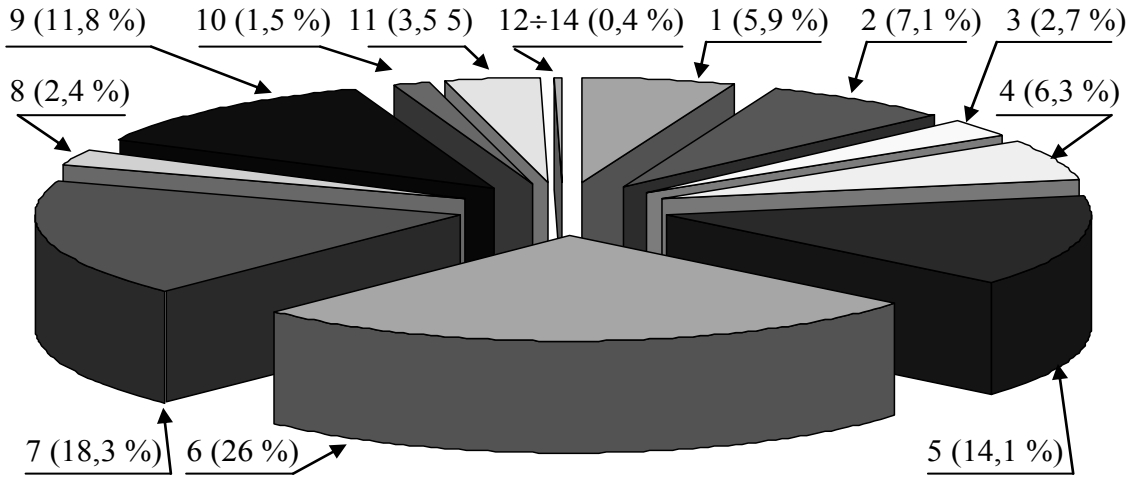


Рис. 1. Соотношение приведенных отраслевых разделов в БД «Экология и природопользование в Беларуси»

Как видно из рис. 1, более 70 % публикаций белорусских специалистов приходится на четыре из четырнадцати размещенных в порядке убывания объемов записей отраслевых разделов: экология растительного мира (26 %); экология животного мира (18,3 %); почвы (14,1 %) и экологическая обстановка в Беларуси (11,8 %). Это в определенной мере свидетельствует о важности и актуальности представленной в данных разделах экологической информации.

Анализ и обобщение результатов исследований в этой области, информация о которых в наиболее полном виде сконцентрирована в БД «Экология и природопользование в Беларуси», вполне могут быть использованы для эффективной интеграции белорусской университетской и академической науки в

такие постоянно возобновляемые международные программы, как 7 Рамочная программа сотрудничества ЕС. Тем более, что у входящих в состав индустриально развитых стран-участников данных программ источники загрязнения окружающей среды, как правило, одинаковы: это промышленное производство и утилизация продуктов жизнедеятельности людей, следствием которых являются выбросы вредных веществ в воздушный бассейн и загрязнение водных ресурсов. К этим уже традиционно существующим в современном индустриально развитом мире факторам можно добавить специфические проблемы значительных территорий Республики Беларусь, Российской Федерации и Украины, имеющих зоны радиационного загрязнения, образовавшихся в результате одной из крупнейших техногенных катастроф XX в. – аварии на Чернобыльской АЭС. При этом характер воздействия радиационного загрязнения на флору и фауну в силу специфических особенностей данного фактора со временем может претерпевать существенные изменения. Представленная информация о публикациях на эту тему в БД насчитывает более 2300 записей.

Изучение и анализ основного содержания информации по каждой из тематических рубрик БД, представленной с 2002 г., весьма полно отражают состояние окружающей среды территории Беларуси и влияние на нее человеческой деятельности. В свою очередь, динамика изменения числа записей во времени в определенной мере свидетельствует об уровне интереса ученых и специалистов к той или иной проблеме. Простой анализ количественного соотношения публикаций по теме радиоактивного загрязнения окружающей среды, об отходах производства и загрязнении атмосферы в хронологическом режиме свидетельствует о том, что исследования последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС до настоящего времени остаются весьма актуальными.

Ориентировочное соотношение количественного состава записей по каждому из приведенных факторов показано на рис. 2.

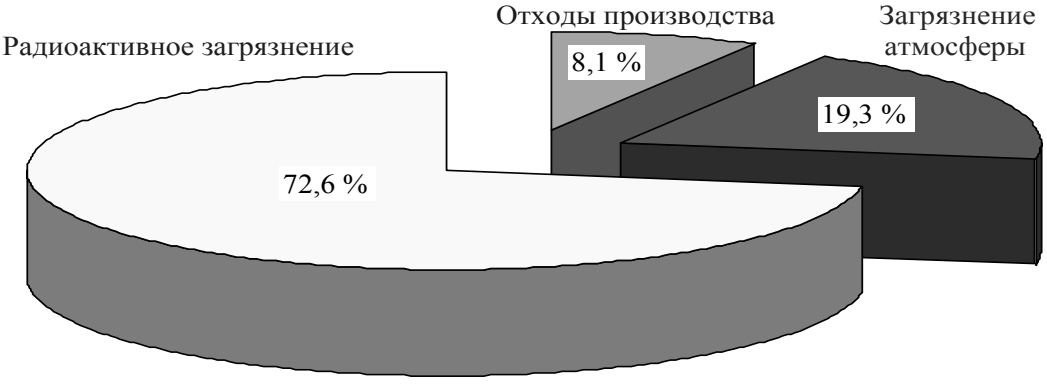


Рис. 2. Соотношение объемов записей в БД «Экология и природопользование в Беларуси» по основным источникам загрязнения экологической среды: отходы производства (188 записей); загрязнение атмосферы (446 записей); радиоактивное загрязнение (1680 записей)

Изучение и анализ влияния индустриально-селитебного комплекса на окружающую среду зачастую позволяют по-новому взглянуть на стратегию развития промышленных комплексов, учитывая при их создании необходимость сохранения равновесия с природной средой. Это направление нашло

свое отражение в разделе БД «Экология и природопользование в Беларуси» – «Влияние индустриально-селитебного комплекса на окружающую среду». Анализ числа информации о публикациях на данную тему показывает, что наиболее пристальное внимание, как видно из рис. 3, ученые и специалисты в этой области уделяют проблемам экологического состояния промышленных центров и их влияния на экологическую ситуацию в Беларуси. Если выделить информацию о публикациях по экологии промышленных городов, можно заметить определенные тенденции в развитии программ по охране окружающей среды этих территорий.

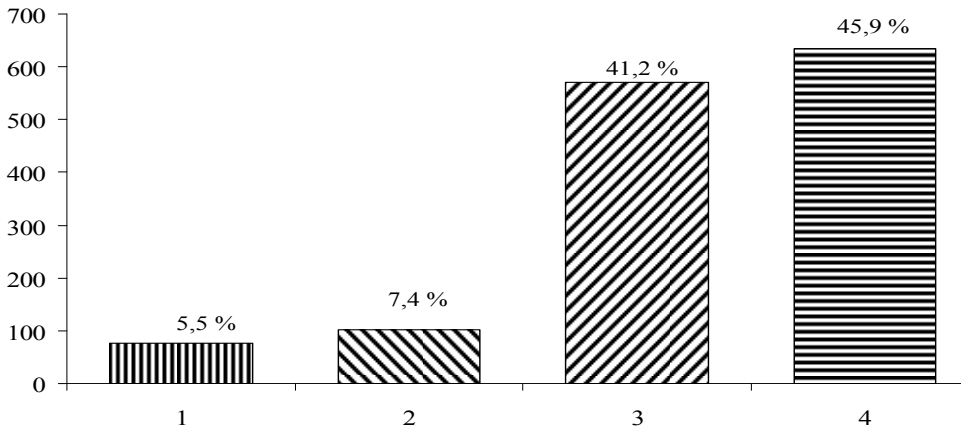


Рис. 3. Соотношение объемов записей в БД «Экология и природопользование в Беларуси» по основным источникам индустриально-селитебного загрязнения экологической среды: 1 – промышленные районы (76 записей); 2 – чрезвычайные ситуации техногенного характера (102 записи); 3 – загрязнение атмосферы (571 запись); 4 – влияние индустриально-селитебного комплекса (635 записей)

Наиболее проблемные вопросы природопользования, отраженные в национальной стратегии устойчивого развития Беларуси, и информация об основных составляющих данной стратегии содержатся в БД в одноименном разделе «Национальная стратегия устойчивого развития» (в настоящее время – 77 записей).

Наиболее эффективное функционирование национальной программы устойчивого развития тесно связано с соответствующими общеевропейскими программами, включающими обязательный биологический контроль за состоянием окружающей среды. Для решения трансграничных экологических проблем и создания совместных с соседними странами особо охраняемых природных территорий был организован координационный Совет (Центр) Союзного государства, основными направлениями деятельности которого стало сохранение и совместное рациональное использование природных ресурсов. При этом, как показал анализ опыта решения данных проблем в странах Европейского союза, эффективность осуществления мероприятий, проводимых в области природопользования и охраны окружающей среды, не может быть достаточно высокой без понимания их важности и необходимости участия в реализации проектов как официальных организаций, так и конкретных заинтересованных лиц. Информация о публикациях в этой области представлена в разделах «Международное сотрудничество в области совместного природопользования» и «Экологическая информированность населения», содержащих соответственно 237 и 197 записей.

Нельзя не отметить ряд новых направлений в природоохранной деятельности, связанных с учреждением межнациональных природоохранных территорий, формированием Красных книг и списков охраняемых растений, появлением трансграничных особо охраняемых территорий, ставших резерватами для сохранения редких и исчезающих видов растений, откуда они могут распространяться на сопредельные территории. Эта тема также нашла отражение в разделе «Охрана ботанических объектов. Редкие и охраняемые виды растений». В настоящее время данный раздел содержит 225 записей.

В связи с развитием технического прогресса прогнозируется определенный рост числа техногенных катастроф, которые в сочетании с природными стихийными явлениями могут наносить значительный урон человечеству. Накопленный опыт в решении проблем, связанных с данными явлениями, находит свое отражение в решениях, принимаемых в рамках международных конвенций и соглашений. В соответствии с этим в Беларуси создана развернутая сеть наблюдений за опасными объектами, к которым относятся: Солигорский промышленный район, Новополоцкий промышленный узел, Белорусское Полесье, Белорусское Поозерье, Минский столичный округ и самый проблемный регион Беларуси, имеющий официальный статус региона экологического бедствия, – территория, загрязненная в результате катастрофы на ЧАЭС.

Необходимо отметить, что в государственном документе «Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г.» по-прежнему акцентируется внимание на вопросе о совместном и рациональном природопользовании. При этом вполне закономерно, что по мере дальнейшего заключения соглашений в области природопользования и охраны окружающей среды сфера внешних экологических обязательств нашего государства, как и других сопредельных стран, будет постоянно расширяться, как и ранее. Так, например, в 80-е гг. прошлого столетия для Беларуси эти обязательства охватывали только вопросы трансграничного загрязнения воздуха и охраны озонового слоя. В 90-е гг. к ним добавились вопросы сохранения биологического разнообразия, открытости экологической информации, международной торговли видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, контроля за трансграничной перевозкой опасных отходов, охраны водно-болотных угодий. В это же время была ратифицирована Конвенция по борьбе с опустыниванием, а также подписаны межправительственные соглашения с соседними странами по проблемам охраны трансграничных вод. Даже простой анализ и прогнозирование развития данного процесса с использованием БД «Экология и природопользование в Беларуси» может иметь значительный научный и практический интерес, в том числе в сфере развития и совершенствования процессов подготовки специалистов в области экологии.

Целесообразно отметить, что разработку БД и её формирование осуществляют сотрудники научно-библиографического отдела ЦНБ НАН Беларуси, имеющие значительный опыт поиска, выявления и анализа необходимой потребителю информации. Это позволяет значительно расширить и качественно улучшить информационное обеспечение ученых и специалистов, работающих в данной области, а также студентов вузов. Тематика рубрик постоянно находится в процессе расширения, связанном с новыми направлениями в развитии природоведческой науки. Отбор источников для отражения в БД осуществляется при просмотре печатных материалов, получаемых ЦНБ и Национальной библиотекой Беларуси (НББ). Это тематический материал на русском, белорусском и других языках, изданный в республике, вклю-

чающий периодические издания, монографии, статьи из сборников научных трудов и материалов конференций. Сверка с источниками вторично-документальной информации помогает дополнить сведениями о публикациях белорусских ученых за рубежом.

Библиографические записи БД «Экология и природопользование в Беларуси», представленные в BELMARC-формате, обеспечивают возможность осуществления автоматизированного поиска информации по запросу и формирование библиографических списков в печатной форме с пересылкой их по электронной почте по заказу.

Информационный поиск в БД возможно производить по следующим элементам библиографического описания:

– ключевым словам;
– предметным рубрикам;
– видам документов;
– словарям;
– авторитетным записям и т. д.

Как особенность по поиску ключевых слов, можно использовать терминологию по флоре и фауне на латинском языке. Библиографические записи содержат перекрестные гипертекстовые ссылки прежде всего на те поля, по которым поддерживаются авторитетные файлы (в БД они выделены синим цветом): авторы, предметные категории, географические наименования. Использование ссылок позволяет получить все документы одного автора или предметной рубрики.

Тематическая направленность БД создает возможности сужения или расширения потока информации, что позволяет получить информацию о публикациях в природоведческой науке с выдачей документов в требуемом временном диапазоне.

БД размещена на сайте Центральной научной библиотеки НАН Беларуси им. Якуба Коласа. Ее электронный ресурс для пользователя в on-line режиме по адресу: http://libcat.bas-net.by/ecology/basic/html.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Басинюк, Т. К.** Электронные информационные ресурсы ЦНБ им. Я. Коласа НАН Беларуси в области охраны окружающей среды [Электронный ресурс] / Т. К. Басинюк // Библиотеки и информационные ресурсы в современном мире науки, культуры, образования и бизнеса : материалы XV Юбилейной Междунар. конф. «Крым 2008». – М. : ГПНТБ России, 2008.

2. **Басинюк, Т. К.** Международное сотрудничество в области природопользования как объект библиографического отражения в БД «Экология и природопользование в Беларуси» / Т. К. Басинюк // Междунар. библиографический конгресс, 21–23 сент. 2010 г. – СПб. : Рос. нац. б-ка, 2010.

Статья сдана в редакцию 18 октября 2012 года

Игорь Сергеевич Сазонов, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-26-61-00. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.
Татьяна Константиновна Басинюк, ведущий библиограф, ГУ «Центральная научная библиотека им. Я. Коласа НАН Беларуси». Тел.: 8-017-284-27-06.

Igor Sergeyevich Sazonov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-26-61-00. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.
Tatiana Konstantinovna Basiniuk, key bibliographer, State Institution «Yakub Kolas Central Scientific Library» of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus. Tel.: 8-017-284-27-06.

ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338.46

Л. Г. Козлова, С. В. Шубадеева

РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

UDC 338.46

L. G. Kozlova, S. V. Shubadeyeva

THE DEVELOPMENT OF WAYS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF A PUBLIC HEALTH INSTITUTION ACTIVITIES BASED ON CONSTRUCTING THE MODEL OF USING ITS ECONOMIC POTENTIAL

Аннотация

Особенностью функционирования современной организации здравоохранения является повышение эффективности её деятельности. В качестве основания для разработки направлений повышения эффективности деятельности организации выступают результаты анализа уровня эффективности использования её ресурсного потенциала. Моделирование экономического потенциала организации позволяет определить основные направления роста эффективности ее деятельности.

Ключевые слова:

эффективность, модель экономического потенциала, ликвидность, ресурсы, прибыль, рентабельность, затраты, производительность труда, устойчивое развитие.

Abstract

The peculiar feature of functioning of any modern public health institution is the increase of the efficiency of its activities. The analysis of the level of effectiveness of using the resource potential of the institution forms the basis for developing the ways of increasing the effectiveness of its activities. Modeling of the economic potential of the public health institution allows determining the main directions of increasing the efficiency of the institution functioning.

Key words:

efficiency, model of economic potential, liquidity, resources, profits, profitability, costs, productivity of labor, stable development.

Процессы реформирования сферы здравоохранения в Республике Беларусь, включающие в себя не только внедрение новейших технологий и оборудования, но и механизмов оказания медицинских услуг на платной основе, неизбежно сопровождаются развитием рыночных отношений. В этих условиях вопросы предпринимательства, внедрения современного менеджмента и маркетинга в данную отрасль приобретают особую актуальность, которая сохраня-

© Козлова Л. Г., Шубадеева С. В., 2013

ется и развивается в настоящее время. Следует также отметить, что стремление жителей Республики Беларусь к здоровому образу жизни и более ответственное их отношение к состоянию своего здоровья влечет за собой устойчивый спрос на медицинские услуги, которые не всегда могут оказать стационарные государственные медицинские организации. Все это создает почву для эффективного развития частных структур в области здравоохранения, а также расширения деятельности государственных стационарных учреждений на базе более эффективного использования имеющихся у них ресурсов, предоставления расширенного списка платных услуг, соблюдения режима экономии, действующего в государстве.

Таким образом, в рыночной экономике решающим фактором коммерческого успеха учреждений здравоохранения является повышение эффективности хозяйственной деятельности.

В последнее время сфера здравоохранения все более полно вовлекается в экономический оборот общества, чему способствует активное функционирование медицинских организаций на основе рыночных отношений и увеличение спроса на медицинские услуги. При этом наблюдается всё большая зависимость сферы здравоохранения от результатов общего экономического роста в стране: платежеспособность населения влияет на изменение объема платных услуг отрасли, а стабилизация в государственном секторе позволяет рассчитывать на развитие целевых программ здравоохранения, финансируемых за счёт средств государственного бюджета. Следовательно, проблема разработки возможных направлений повышения эффективности деятельности медицинских учреждений на основе оценки ее экономического потенциала является актуальной.

Экономический потенциал определяется как совокупная способность страны, её отраслей, предприятий, хозяйств осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, удовлетворять запросы населения, общественные потребности, обеспечивать развитие производства и потребления. Основные элементы экономического потенциала предприятия подразделяются на материальные, финансовые, трудовые и природные ресурсы [1, с. 88].

С точки зрения действующего предприятия, экономический потенциал – это способность предприятия к дальнейшей его деятельности, опирающаяся на наличие у него необходимых ресурсов [2, с. 58].

Основными факторами, определяющими экономический потенциал, являются производственные мощности промышленности, сельского хозяйства, строительства, транспорта и связи, производственная, социальная и экологическая инфраструктуры, трудовые ресурсы, в том числе квалифицированные кадры, способные развивать научно-технический прогресс и обеспечивать его реализацию в сфере производства и потребления [3, с. 44].

В качестве объекта исследования выбрано ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника». Это наиболее успешно функционирующая стоматологическая поликлиника в г. Могилеве. Основной целью исследования является разработка направлений повышения эффективности деятельности медицинской организации на основе построения и использования модели ее экономического потенциала. Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

– построена модель экономического потенциала объекта исследования во временном периоде (2009–2011);

– проведена аналитическая оценка разработанных моделей;

– сформулированы основные направления повышения эффективности деятельности объекта исследования на основе результатов аналитической

оценки модели экономического потенциала.

Экономический потенциал ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» рассчитывался на основе экономических показателей его экономической деятельности. К ним отнесены: показатели ликвидности и деловой активности, показатели эффективности использования материалов, основных средств, трудовых ресурсов. Для построения модели экономического потенциала была применена пошаговая оценка показателей, характеризующих формирование и использование капитала объекта исследования.

Шаг 1: оценка формирования экономического потенциала на основе анализа показателей использования капитала: финансовой устойчивости, совокупного и собственного капитала. Формирование экономического потенциала может обеспечиваться по трем направлениям (уровням), которые представлены в табл. 1.

Оценка формирования экономического потенциала включает систему оценочных показателей по трем группам (табл. 2).

Табл. 1. Система оценочных показателей формирования потенциала

Уровень формирования экономического потенциала	Характеристика
Высокий уровень – А	Предприятие имеет прирост потенциала, обеспечивает расширенное воспроизводство и рост собственности
Средний уровень – В	На предприятии наблюдается прирост потенциала низкими темпами, т. к. существуют предпосылки неустойчивого развития
Низкий уровень – С	На предприятии отсутствует прирост экономического потенциала

Табл. 2. Система оценочных показателей формирования экономического потенциала

Показатель финансового состояния	Показатель использования активов	Показатель оценки собственного капитала
1	2	3
Коэффициент текущей ликвидности: А > 1,7; В = 1,0…1,7; С < 1,0	Соотношение индекса изменения внеоборотных активов, индекса изменения прибыли и рентабельности внеоборотных активов: А – (Iва ≤ Iп ≤ Rва); В – (Iва ≤ Iп ≥ Rва) или (Iва ≥ Iп ≤ Rва); С – (Iва ≥ Iп ≥ Rва)	Соотношение индекса изменения собственного оборотного капитала, индекса изменения прибыли и рентабельности собственного оборотного капитала: А – (Iсок ≤ Iп ≤ Rсок); В – (Iсок ≤ Iп ≥ Rсок) или (Iсок ≥ Iп ≤ Rсок); С – (Iсок ≥ Iп ≥ Rсок)
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами: А > 0,3; В = 0,1…0,3; С < 0,1	Соотношение индекса изменения оборотных средств, индекса изменения прибыли и рентабельности оборотных средств: А – (Iос ≤ Iп < Rос); В – (Iос ≤ Iп ≥ Rос) или (Iос ≥ Iп ≤ Rос); С – (Iос ≥ Iп ≥ Rос)	Соотношение индекса роста собственного капитала, индекса роста прибыли и рентабельности собственного капитала: А – (Iск ≤ Iп ≤ Rск); В – (Iск ≤ Iп ≥ Rск) или (Iск ≥ Iп ≤ Rск); С – (Iск ≥ Iп ≥ Rск)

Окончание табл. 2

1	2	3
Коэффициент обеспеченности финансовых обязательств активами: A < 0,5; B = 0,85…0,5; C > 0,85	Соотношение индекса изменения активов, индекса изменения прибыли и рентабельности имущества: A – (Ia ≤ Iп ≤ Ra); B – (Ia ≤ Iп ≥ Ra) или (Ia ≥ Iп ≤ Ra); C – (Ia ≥ Iп ≥ Ra)	Коэффициент воспроизводства: A > 1,0; B = 0,5…1,0; C < 0,5
Прибыль от реализации: A – имеет устойчивую тенденцию развития в динамике; B – имеет неоднозначную тенденцию развития в динамике; C – имеет отрицательную тенденцию развития в динамике	–	Коэффициент оборачиваемости собственного капитала: A – имеет устойчивую тенденцию развития в динамике; B – имеет неоднозначную тенденцию развития в динамике; C – имеет отрицательную тенденцию развития в динамике
Коэффициент обеспеченности собственными средствами: A > 1,0; B = 0,5…1,0; C < 0,5	–	Коэффициент маневренности: A > 1; B = 0,5…1,0; C < 0,5

Дополнительно в табл. 2 приведены пороговые значения для каждого показателя с учетом уровней формирования экономического потенциала. Каждому показателю на основе установленной шкалы и фактического значения присваивается определенный уровень, а также устанавливается доля каждого уровня в совокупности по всем показателям. Уровень группы показателей соответствует наибольшей доле уровня показателей, входящих в группу (табл. 3).

Табл. 3. Уровень формирования экономического потенциала

Уровень формирования потенциала	Уровень группы показателей A	Уровень группы показателей B	Уровень группы показателей C
A	AAA	–	–
	AA	B	–
B	AA	–	C
	A	B	C
	A	BB	–
	–	BBB	–
	–	BB	C
C	A	–	CC
	–	B	CC
	–	–	CCC

Шаг 2: оценка воспроизводства экономического потенциала, включающая анализ себестоимости продукции, затраты на рубль реализованной продукции, анализ переменных и постоянных затрат, анализ использования трудовых ресурсов. Возможность воспроизводства потенциала напрямую влияет на расширение экономического потенциала предприятия и зависит от получения дохода. В свою очередь, доход может быть получен как результат уменьшения расходов.

Воспроизводство экономического потенциала может развиваться по трем направлениям (уровням), которые представлены в табл. 4.

Экономическая оценка воспроизводства экономического потенциала включает систему оценочных показателей по двум группам (табл. 5).

Пример построения модели экономического потенциала по данным деятельности организации за 2011 г. представлен в табл. 6…9 (* – маркер уровня соответствующего показателя).

Табл. 4. Система оценочных показателей воспроизводства экономического потенциала

Уровень воспроизводства экономического потенциала	Характеристика
Высокий уровень – А	Воспроизводственный потенциал устойчивого развития (санационный резерв)
Средний уровень – В	Устойчивый воспроизводственный потенциал
Низкий уровень – С	Критический уровень воспроизводственного развития экономического потенциала

Табл. 5. Система оценочных показателей воспроизводства экономического потенциала

Показатель затрат	Показатель использования трудовых ресурсов
Индекс изменения материальных затрат к индексу изменения объема оказанных услуг: A < 1; B = 1; C > 1	Индекс изменения производительности труда к индексу изменения заработной платы: A > 1,0; B = 1,0; C < 1,0
Индекс изменения затрат на оплату труда к индексу изменения объема оказанных услуг: A < 1; B = 1; C > 1	Соотношение средней квалификации персонала и сложности медицинской услуги: A > 1,0; B = 1,0; C < 1,0
Индекс изменения затрат на амортизацию к индексу изменения объема оказанных услуг: A < 1; B = 1; C > 1	Производительность труда: A > 10 %; B = 1…10 %; C = 0 %
Индекс изменения затрат на оплату услуг сторонних организаций к индексу изменения объема оказанных услуг: A < 1; B = 1; C > 1	–
Затраты на 1 р. прибыли от реализации продукции (работ, услуг): A < 1; B = 1; C > 1	–
Затраты на 1 р. прибыли (отчетного периода): A < 1; B = 1; C >1	–
Соотношение затрат на оплату труда на 1 р. средней заработной платы медицинского персонала и затрат на оплату труда на 1 р. средней заработной платы по организации: A > 1; B = 1; C < 1	–

Табл. 6. Оценка показателей формирования капитала организации здравоохранения

Показатель финансового состояния	Значение	Уровень		
		A	B	C
1 Показатели финансового состояния				
Коэффициент текущей ликвидности	2,791	*		
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,642	*		
Коэффициент обеспеченности финансовых обязательств активами	0,068	*		
Прибыль от реализации продукции (товаров, работ, услуг), млн р.	173	*		
Коэффициент финансовой независимости	0,932		*	
2 Показатели использования активов				
Соотношение индекса изменения внеоборотных активов, индекса изменения прибыли и рентабельности внеоборотных активов	2,03 > 1 > 0,49			*
Соотношение индекса изменения оборотных средств, индекса изменения прибыли и рентабельности оборотных средств	1,248 > 1 > 0,802			*
Соотношение индекса изменения активов, индекса изменения прибыли и рентабельности имущества	1,81 > 1 > 0,55			*
3 Показатели оценки собственного капитала				
Соотношение индекса роста собственного капитала, индекса роста прибыли и рентабельности собственного капитала	1,81 > 1 > 0,55			*
Коэффициент оборачиваемости собственного капитала, раз/год	1,87			*
Коэффициент маневренности	0,13			*
Рентабельность собственного капитала, %	9,16		*	
Примечание – Источник: собственная разработка на основе данных организации				

Табл. 7. Комплексная оценка формирования потенциала с позиции использования капитала организации здравоохранения

Группа	A	B	C	Уровень группы
Показатели финансового состояния	80 %	20 %	–	A
Показатели использования активов	–	–	100 %	C
Показатели оценки собственного капитала	–	25 %	75 %	C
Примечание – Источник: собственная разработка на основе данных организации				

Табл. 8. Оценка показателей воспроизводства капитала организации здравоохранения

Показатель финансового состояния	Значение	Уровень		
		A	B	C
1 Показатели затрат				
Индекс изменения материальных затрат к индексу изменения объема оказанных услуг	1,715/1,413 = 1,214			*
Индекс изменения затрат на оплату труда к индексу изменения объема оказанных услуг	1,602/1,413 = 1,13			*
Индекс изменения затрат на амортизацию к индексу изменения объема оказанных услуг	1,89/1,413 = 1,34			*
Затраты на рубль прибыли от реализации продукции (товаров, работ, услуг), р.	18,82			*
2 Показатели использования трудовых ресурсов				
Индекс изменения производительности труда к индексу изменения заработной платы	1,07	*		
Производительность труда, млн р./чел.	43,7	*		

Примечание – Источник: собственная разработка на основе данных организации

Табл. 9. Комплексная оценка уровня воспроизводства потенциала капитала организации

Группа	A	B	C	Уровень группы
Показатели затрат	–	–	100 %	C
Показатели использования трудовых ресурсов	100 %	–	–	A

Примечание – Источник: собственная разработка на основе данных организации

Согласно данным табл. 6, большинство из рассчитанных показателей финансового состояния попадают в группу А (см. табл. 2), что свидетельствует о том, что хозяйственная деятельность организации за анализируемый период обеспечила прирост потенциала, а также осуществляется расширенное воспроизводство и рост уровня собственности.

Что касается показателей, отражающих использование активов и оценку собственного капитала, большинство их величин сконцентрировано на уровне С (см. табл. 7), что оценивается как неудовлетворительный уровень показателя и свидетельствует о замедлении темпов развития экономического потенциала в данном направлении.

Следовательно, требуется принятие конкретных мер от руководителей организации по увеличению темпов роста показателей, формирующих указанный показатель экономического потенциала.

В табл. 8 приведены результаты оценки показателей воспроизводства капитала организации, которые представлены в виде отношения индексов изменения величин используемых материальных и иного рода ресурсов к индексу изменения экономического эффекта, полученного по результатам хозяйственной деятельности в 2011 г.

На основании данных табл. 8 составлена табл. 9, в которой представлена комплексная оценка уровня воспроизводства потенциала капитала организации.

Исходя из данных табл. 9 можно сделать вывод о том, что по показателям затрат воспроизводство экономиче-

ского потенциала ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» не имеет развития, то есть отсутствуют какие-либо изменения. Этот факт подтверждает выводы, сделанные ранее по данным табл. 6 и 7.

Что касается воспроизводства экономического потенциала по показателям использования трудовых ресурсов, то здесь отражается воспроизводственный потенциал устойчивого развития. Это свидетельствует о грамотной кадровой политике менеджмента организации здравоохранения в области организации и мотивации труда.

Аналогичные модели оценки и воспроизводства экономического потенциала ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» были построены по исходным оперативным и статистическим данным за 2009 и 2010 гг.

На основании данных, полученных в результате построения моделей, были проведены их комплексная совокупная оценка и сравнительный анализ, результаты которых отражены в табл. 10.

Табл. 10. Сравнительный анализ моделей оценки и воспроизводства экономического потенциала организации здравоохранения за 2009…2011 гг.

Показатель	Уровень группы показателей		
	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Комплексная оценка формирования потенциала с позиции капитала			
Показатели финансового состояния	A	A	A
Показатели использования активов	B	B	C
Показатели оценки собственного капитала	B	C	C
Комплексная оценка уровня воспроизводства потенциала капитала			
Показатели затрат	B	C	C
Показатели использования трудовых ресурсов	A	A	A
Примечание – Источник: собственная разработка			

На основании данных, представленных в табл. 10, можно сделать следующие выводы относительно динамики изменения уровней групп показателей формирования экономического потенциала ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника»:

– за группой показателей финансового состояния на протяжении трех исследуемых лет закрепился уровень А (группа А): организация здравоохранения имеет устойчивый прирост экономического потенциала по финансовой деятельности в динамике, что предопределяет воспроизводство затраченных ресурсов на финансовую деятельность и способность организации стабильно обеспечивать свои обязательства перед кредиторами. Этот факт свидетельствует об эффективности финансовой деятельности объекта исследования;

– по группам показателей затрат, использования активов и оценки собственного капитала в динамике наблюдается отрицательная тенденция, то есть плавный переход групп данных показателей от уровня В, характеризующего прирост экономического потенциала низкими темпами, к уровню С, что свидетельствует об отсутствии развития экономического потенциала по указанным критериям. Данная тенденция подтверждается также и тенденцией повышения материалоёмкости стоматологических услуг

ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» за анализируемый период [5, с. 360–362];

– по группе показателей использования трудовых ресурсов за 2009…2011 гг. наблюдается устойчивая положительная тенденция прироста экономического потенциала в динамике. Уровень этих показателей находится в группе уровня А.

Эта тенденция обеспечивается за счет грамотной кадровой политики руководства ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника», существующей эффективной системы мотивации труда, а также качественного оснащения основного персонала поликлиники необходимыми лекарственными средствами, изделиями медицинского назначения, прочими расходными материалами, инструментами и оборудованием в целях наиболее рациональной организации труда.

Основным конечным результатом деятельности в здравоохранении является здоровье человека, следовательно, и показатели экономического потенциала должны быть ориентированы на потребителя медицинских услуг [6, с. 86].

Выводы

Негативная тенденция снижения экономического потенциала ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» в области затрат напрямую связана с факторами роста цен на закупаемые стоматологические материалы, а также со структурными сдвигами в ассортименте оказываемых пациентам услуг. Финансирование обновления материально-технической базы организации здравоохранения осуществлялось полностью за счет собственных средств.

На основании полученных выводов для ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» могут быть предложены следующие пути повышения эффективности его деятельности за счет более рационального использования материальных затрат, собственного капитала, увеличения суммы чистой прибыли:

– анализ рынка и поиск новых поставщиков необходимых стоматологических материалов по более низким ценам, участие в электронных торгах по закупке материальных ресурсов;

– определение необходимого и оптимального запаса основных материалов для оказания стоматологических услуг, что является достаточно трудоемкой задачей в силу специфики оказываемых услуг;

– использование прямых длительных связей с поставщиками основных материалов для оказания стоматологических услуг;

– совершенствование системы экономического стимулирования эффективного и рационального использования сырьевых ресурсов, используемых в организации здравоохранения;

– наиболее полное использование производственных возможностей организации здравоохранения за счет применения новых и более рациональных приемов труда при оказании стоматологической услуги;

– проведение различного рода рекламных акций среди населения г. Могилёва («Дни здоровья полости рта»);

– интенсификация рекламной деятельности организации здравоохранения и оказываемых услуг в местной периодической печати, на телевидении и радио;

– распространение рекламной продукции с логотипом поликлиники;

– создание собственного сайта в сети Интернет в целях популяризации новых и продвижения уже оказываемых услуг, упрощение процедуры системы связей между организацией здравоохранения и реальными и потенциальными пациентами.

Заключение

Разработка направлений и методов повышения эффективности деятельности медицинской организации осуществлялась на основании построения моделей экономического потенциала объекта исследования в динамике за 2009…2011 гг.

В результате проведенного анализа были получены следующие выводы:

– за группой показателей финансового состояния на протяжении трех исследуемых лет закрепился уровень А (группа А): организация имеет устойчивый прирост экономического потенциала по основному виду деятельности;

– по группам показателей затрат, использования активов и оценки собственного капитала наблюдается отрицательная тенденция, т. е. плавный переход групп данных показателей от уровня В, характеризующего прирост экономического потенциала низкими темпами, к уровню С, т. е. не происходит развитие экономического потенциала по данным направлениям;

– по группе показателей использования трудовых ресурсов за 2009…2011 гг. наблюдается устойчивая тенденция прироста экономического потенциала в динамике (уровень А);

– в целом, общим уровнем экономического потенциала ОАО «Областная хозрасчетная стоматологическая поликлиника» является уровень В, что свидетельствует о низких темпах прироста и воспроизводстве его;

– в качестве мероприятий по нивелированию выявленных проблем эффективности деятельности организации предложены следующие: более рациональная закупка и использование необходимых для производственной деятельности материальных ресурсов на основании установления прямых постоянных связей с поставщиками, определения оптимального размера запаса и использования новейших экономичных способов оказания платной медицинской услуги; разработка и использование различного рода рекламных мероприятий, направленных на привлечение пациентов и, соответственно, увеличение выручки от реализации услуг и чистой прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Янкевич, П. А.** Экономический потенциал предприятия и методы оценки / П. А. Янкевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 12. – С. 88.

2. **Ханов, А. Р.** Экономический потенциал предприятия как объект исследования / А. Р. Ханов // Российское предпринимательство. – 2006. – № 10 (82). – С. 58–60.

3. Национальная экономика Беларуси : учебник / В. Н. Шимов [и др.] ; под ред. В. Н. Шимова. – Минск : БГЭУ, 2009. – 751 с.

4. **Ковалев, В. В.** Финансовый анализ : методы и процедуры / В. В. Ковалев. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 559 с.

5. **Шубадеева, С. В.** Анализ основных направлений и поиск путей повышения эффективности деятельности медицинского учреждения / С. В. Шубадеева // IX Межрегион. (Междунар.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов : сб. тр. – Смоленск, 2012. – С. 360–362.

6. **Лихтарович, Е. Е.** Оценка качества конечного результата деятельности в здравоохранении / Е. Е. Лихтарович // Экономика и управление. – 2012. – № 1 (29) – С. 83–87.

Статья сдана в редакцию 27 декабря 2012 года

Людмила Георгиевна Козлова, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-25-22-29. E-mail: k_mila_1@rambler.ru.
Светлана Владимировна Шубадеева, магистрант, Белорусско-Российский университет.

Ludmila Georgiyevna Kozlova, senior lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-25-22-29. E-mail: k_mila_1@rambler.ru.
Svetlana Vladimirovna Shubadeyeva, Master's degree student, Belarusian-Russian University.

УДК 339

Л. В. Наркевич, К. П. Боровикова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ПРОДАЖ ТОРГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ СПРОСА

UDC 339

L. V. Narkevich, K. P. Borovikova

FORECASTING OF SALES OF A COMMERCIAL ORGANIZATION WITH CONSIDERATION OF VARIATIONS IN DEMAND

Аннотация

Приведены особенности прогнозирования объема продаж торгового предприятия. Рассмотрен метод анализа и прогнозирования временных рядов с учетом сезонных колебаний, с помощью которого можно осуществить прогноз объема продаж предприятия, что позволит более эффективно управлять запасами и снизить расходы.

Ключевые слова:

прогнозирование, эффективность, сезонная компонента, отклонение, объем продаж.

Abstract

The paper presents the peculiarities of forecasting the sales volume of a commercial enterprise. It also considers the method of analysis and prognosis of time series with consideration of seasonal fluctuations. With this method, the forecast of sales volume of the company can be performed that will provide a more effective inventory management and reduction of company costs.

Key words:

forecasting, efficiency, seasonal component, deviation, sales volume.

Одна из важных составляющих успеха компании – качественное прогнозирование продаж. Правильно рассчитанный прогноз позволяет более эффективно вести бизнес, прежде всего, контролировать и оптимизировать расходы. Кроме того, если речь идет о продукции, это позволяет сформировать оптимальные (а не завышенные или заниженные) запасы продукции на складе [1].

Прогнозирование объёмов продаж продукции в современных условиях является одной из приоритетных задач, позволяет оптимизировать деятельность предприятия и предполагает следующее:

– планирование объема продаж продукции в натуральном выражении;

– планирование ассортиментных поставок продукции в разрезе потребителей, регионов и др.;

– временное распределение плана продаж продукции (планирование продаж по кварталам, месяцам и неделям года);

– планирование объема продаж продукции в стоимостном выражении;

– планирование величины сбытовых запасов;

– планирование заключения сделок и разработка инструкций о скидках, сроках и условиях платежа;

– планирование сбытовых расходов.

© Наркевич Л. В., Боровикова К. П., 2013

Методы статистического прогнозирования

1. *Экстраполяция по скользящей средней*. Этот метод может применяться для целей краткосрочного прогнозирования и предполагает замену фактических уровней динамического ряда расчетными, имеющими значительно меньшую колеблемость, чем исходные данные. При этом скользящая средняя рассчитывается по группам данных за определенный интервал времени, причем каждая последующая группа образуется со сдвигом на один год (месяц).

В результате подобной операции первоначальные колебания динамического ряда сглаживаются, поэтому и операция называется сглаживанием рядов динамики (основная тенденция развития выражается при этом уже в виде некоторой плавной линии).

2. *Экспоненциальная средняя*. При рассмотрении скользящей средней не учитывается «возраст» наблюдения, т. е. влияние прошлых наблюдений должно затухать по мере удаления от момента, для которого определяется средняя.

Одним из простейших приемов сглаживания динамического ряда с учетом «устаревания» является расчет специальных показателей, получивших название экспоненциальных средних, которые широко применяются в краткосрочном прогнозировании. Основная идея метода состоит в использовании в качестве прогноза линейной комбинации прошлых и текущих наблюдений.

3. *Прогнозирование на основе колебаний*. Одним из статистических методов прогнозирования является расчет прогнозов на основе колебаний уровней динамического ряда. При этом под колебаниями понимаются такие изменения уровня динамического ряда, которые вызываются влияниями времени года.

Методика статистического прогноза по колебаниям основана на их экстраполяции, т. е. на предположении, что параметры колебаний сохраняются до прогнозируемого периода. Для измерения колебаний обычно исчисляются индексы, в частности, усредненные.

4. *Прогнозирование методом линейной регрессии*. Это один из наиболее широко применяемых методов статистического прогнозирования. Метод базируется на анализе взаимосвязи двух переменных (метод парной корреляции) – влияние вариации факторного показателя X (например, расходов на рекламу) на результативный показатель У (например, на объем продаж) [2].

В работе будут использоваться методы анализа и прогнозирования временных рядов при помощи пакета MS Excel. Объектом исследования является торговая организация ОАО «Универмаг «Центральный», которая специализируется на розничной и оптовой торговле продовольственными и непродовольственными товарами. Универмаг реализует широкий ассортимент товаров повседневного спроса, которые по ценовому уровню относятся к товарам со средним уровнем цен.

Среди основных показателей деятельности торговой организации выделяют выручку от реализации товаров, продукции, работ, услуг.

За отчетный 2012 г. выручка выросла по сравнению с предыдущим годом на 49 365 млн р. Расходы на реализацию в отчетном году составили 16 937 млн р., что на 8 141 млн р. больше, чем в предыдущем. Уровень расходов на реализацию снизился на 0,72 %.

Прибыль составила 2 614 млн р., что на 2 109 млн р. больше, чем в предыдущем году. Увеличение прибыли было вызвано значительным увеличением товарооборота и повышением уровня прибыли в 2011 г. на 1,63 %.

Розничный товарооборот в 2012 г. составил 91 394,5 млн р., что на 46 274,2 млн р. больше, чем в предыдущем году. В сопоставимых ценах розничный товарооборот торговли уменьшился на 1 328 млн р. Значительное его увели-

чение обусловлено ростом продаж пищевых продуктов, напитков, табачных изделий на 6 013,9 млн р. (в том числе алкогольных напитков на 639,8 млн р.) и непродовольственных товаров на 40 260,3 млн р.

Запасы товаров в розничной (торговой) сети и на складах на конец отчетного периода увеличились на 16 768,7 млн р.

Рост товарных запасов отрицательно сказывается на деятельности предприятия и свидетельствует о снижении эффективности использования оборотных средств. Решить данную проблему предложено путем прогнозирования объема продаж. Имея представление о границах объема продаж в планируемом году, можно более эффективно управлять как товарными запасами, так и продажами в целом.

Прогноз объема продаж на 2013 г. осуществляется при помощи линии тренда с учетом колебаний спроса, что способствует получению максимально точного и обоснованного прогноза на длительный промежуток времени.

Для повышения точности прогноза необходимы данные за длительный промежуток времени: в случае прогнозирования объема продаж по месяцам – минимум за два года, причем каждому месяцу присваивается номер периода по порядку (итого 24 периода).

Алгоритм прогнозирования объема продаж при помощи линии тренда может быть представлен в следующем виде.

1. *Построение графика по исходным данным. Построение линий тренда для полученной кривой. Выбор наиболее точного тренда для прогнозной модели.* Данному этапу придается особое значение, т. к. от выбора тренда зависит точность модели и ее достоверность.

Линия тренда – это графическое представление общей закономерности изменения ряда данных. Она может быть добавлена для любого ряда данных на диаграмме с областями, линейчатой диаграмме, гистограмме, графике или точечной диаграмме. Линия тренда позволяет прогнозировать изменение ряда. Чем точнее она будет выбрана, тем точнее будет прогноз. Выделяют следующие виды тренда:

– линейный;
– логарифмический;
– полиномиальный;
– степенной;
– экспоненциальный.

2. *Расчет значений тренда за фактический период*. Для того чтобы рассчитать значения тренда, необходимо найти его уравнение. Подставив в уравнение номер периода, получается значение тренда.

3. *Расчет ошибки модели и её точности. Расчет колебаний спроса*. В данном случае ошибка представляет собой отклонения значений тренда от фактических значений. На основании полученных ошибок находится величина колебания для каждого периода.

4. *Расчет прогнозных значений модели с учетом колебаний спроса*. Полученные значения тренда корректируются на величину ошибки и колебания спроса. Результат расчета – скорректированные значения модели, позволяющие прогнозировать объемы продаж.

5. *Построение доверительного интервала*. Доверительный интервал – это допустимое отклонение наблюдаемых значений от истинных. Он зависит от величины полученной ошибки и значений прогнозной модели. Верхняя граница интервала показывает максимально возможное значение искомого, нижняя – минимальное [2].

Исходные данные для прогнозной модели представлены в табл. 1.

По данным таблицы построен график сглаживания колебаний спроса при помощи линии тренда.

Выбор линии тренда зависит от величины достоверности аппроксимации. Наибольшей величиной обладают полиномиальный и линейный тренды.

Табл. 1. Фактические объемы реализации продукции по месяцам за 2011 и 2012 гг.

Номер периода	Месяц	Объем продаж, млн р.	Значение линейной модели, млн р.
1	Январь	3 125,05	1503,51
2	Февраль	3 184,38	1449,72
3	Март	3 752,15	2087,41
4	Апрель	2 853,01	1491,42
5	Май	2 808,40	2654,32
6	Июнь	3 056,01	2342,46
7	Июль	3 518,50	3204,15
8	Август	4 710,26	5274,61
9	Сентябрь	4 079,12	4742,82
10	Октябрь	4 410,87	5356,55
11	Ноябрь	4 495,92	5051,98
12	Декабрь	6 303,35	7685,64
13	Январь	4 365,55	5987,07
14	Февраль	4 198,62	5933,28
15	Март	4 906,23	6570,97
16	Апрель	4 613,40	5974,98
17	Май	6 983,82	7137,88
18	Июнь	6 112,47	6826,02
19	Июль	7 373,38	7687,71
20	Август	10 322,54	9758,17
21	Сентябрь	9 890,10	9226,38
22	Октябрь	10 785,81	9840,11
23	Ноябрь	10 091,61	9535,54
24	Декабрь	13 551,50	12169,20

Точность полиномиального тренда больше линейного, но не рекомендуется использовать его для прогноза, т. к. прогнозные модели, основанные на полиномиальном тренде, прогнозируют резкий необоснованный спад объемов продаж и банкротство предприятия. В данном случае низкая погрешность значений тренда вовсе не говорит о достоверности рассчитываемой модели.

Линейный тренд, в свою очередь, обладает большей погрешностью в модели, но дает результаты более близкие к реальности.

Таким образом, для прогнозной модели наиболее подходящим является линейный тренд (рис. 1).

Величина достоверности аппроксимации R^2 для линейного тренда составила 0,7721.

На рис. 1 отображено уравнение полученного линейного тренда. Данная зависимость $Y = 373{,}63X + 1141{,}8$ может быть использована для прогнозирования объема продаж. Для этого проводится расчет объемов продаж по периодам по полученной зависимости, причем переменная X представляет собой номер периода. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

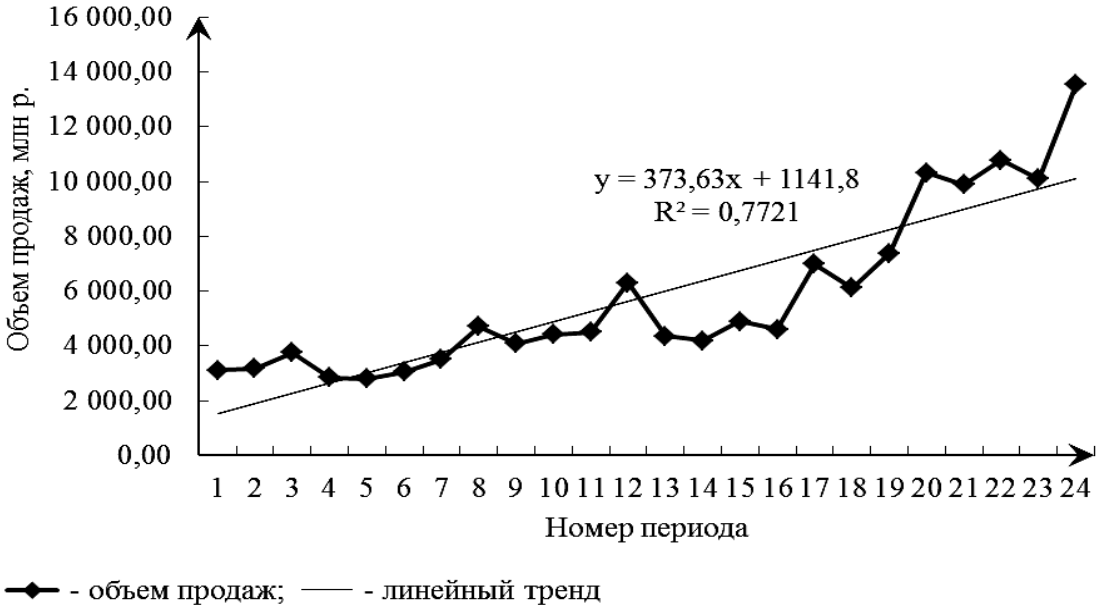


Рис. 1. Объем продаж за 2011 и 2012 гг.

Полученные значения линейной модели за фактический период имеют некоторые отклонения от исходных данных. Эти отклонения могут быть использованы для расчета колебаний спроса модели.

Для расчета колебаний необходимо найти отклонение значений тренда от фактических значений объема продаж.

Далее рассчитываются средние отклонения по месяцам, т. е. среднее значение между отклонениями за январь 2011 г. и январь 2012 г. и т. д. Из полученных значений находится усредненное, которое и будет общим индексом колебаний. Полученные средние значения для каждого месяца корректируются на общий индекс колебаний таким образом, чтобы их сумма была как можно ближе к нулю (табл. 2) [4].

Табл. 2. Расчет средних значений колебаний

Номер периода	Сезон 1	Сезон 2	Итого	Среднее	Колебание спроса
1	1 609,62	–1 633,44	–23,82	–11,911	–11,92
2	1 295,32	–2 174,00	–878,68	–439,34	–439,34
3	1 489,46	–1 840,02	–350,56	–175,28	–175,28
4	216,69	–2 506,48	–2 289,79	–1144,9	–1144,90
5	–201,55	–509,69	–711,24	–355,62	–355,63
6	–327,57	–1 754,67	–2 082,24	–1041,1	–1041,12
7	–238,71	–867,39	–1 106,10	–553,05	–553,06
8	579,42	1 708,14	2 287,56	1143,78	1143,77
9	–425,35	902,07	476,71	238,357	238,35
10	–467,23	1 424,15	956,91	478,457	478,45
11	–755,81	356,32	–399,48	–199,74	–199,75
12	677,99	3 442,58	4 120,58	2060,29	2060,28
Среднее значение				–0,0058	–0,01

Изучив колебания спроса, можно переходить на следующий этап моделирования – расчет ошибок построенной модели. Величина ошибки рассчитывается как фактическое значение объемов продаж за минусом значений тренда и сезонной компоненты:

$$E = F - T - S, \quad (1)$$

где E – ошибка построенной модели; F – фактическое значение объемов продаж; T – значение тренда; S – значение сезонной компоненты [3].

На основании рассчитанных ошибок производится расчет среднеквадратического отклонения для каждого из периодов. Среднее значение среднеквадратического отклонения рассматривается как ошибка модели:

$$E = \frac{\sum O^2}{\sum (T + S)^2}, \quad (2)$$

где T – трендовое значение объёма продаж; S – сезонная компонента; O – отклонения модели от фактических значений [3].

Величина полученной ошибки (E = 19,2 %) позволяет говорить, что построенная модель хорошо аппроксимирует фактические данные, т. е. она вполне отражает экономические тенденции, определяющие объём продаж, и является предпосылкой для построения прогнозов высокого качества.

Таким образом, точность модели составляет 81 %.

Далее производится расчет прогнозных значений по линейному тренду. Полученные значения корректируются на величину колебания спроса, и с учетом ошибки модели находится доверительный интервал:

$$(F \cdot [1 - СКО]; F \cdot [1 + СКО]), \quad (3)$$

где F – прогнозные значения линейной модели; СКО – среднее значение среднеквадратического отклонения [3].

Полученные прогнозные данные представлены в табл. 3. Для наглядного отображения построен график по прогнозным значениям линейной модели. На рис. 2 видно, как линейная модель сглаживает колебания спроса предыдущих периодов и продлевается на 12 период. Данные периода и есть прогнозные значения.

Табл. 3. Расчет прогнозных значений модели с линейным трендом

Номер периода	Месяц	Линейный тренд	Колебание спроса	Прогнозное значение линейной модели	Доверительный интервал	
					–	+
25	Январь	10482,55	–11,92	10470,63	8464,23	12477,04
26	Февраль	10856,18	–439,34	10416,84	8420,74	12412,93
27	Март	11229,81	–175,28	11054,53	8936,23	13172,82
28	Апрель	11603,44	–1144,90	10458,54	8454,45	12462,63
29	Май	11977,07	–355,63	11621,44	9394,52	13848,37
30	Июнь	12350,70	–1041,12	11309,58	9142,41	13476,74
31	Июль	12724,33	–553,06	12171,27	9838,99	14503,56
32	Август	13097,96	1143,77	14241,73	11512,70	16970,77
33	Сентябрь	13471,59	238,35	13709,94	11082,81	16337,07
34	Октябрь	13845,22	478,45	14323,67	11578,94	17068,41
35	Ноябрь	14218,85	–199,75	14019,10	11332,73	16705,48
36	Декабрь	14592,48	2060,28	16652,76	13461,72	19843,80

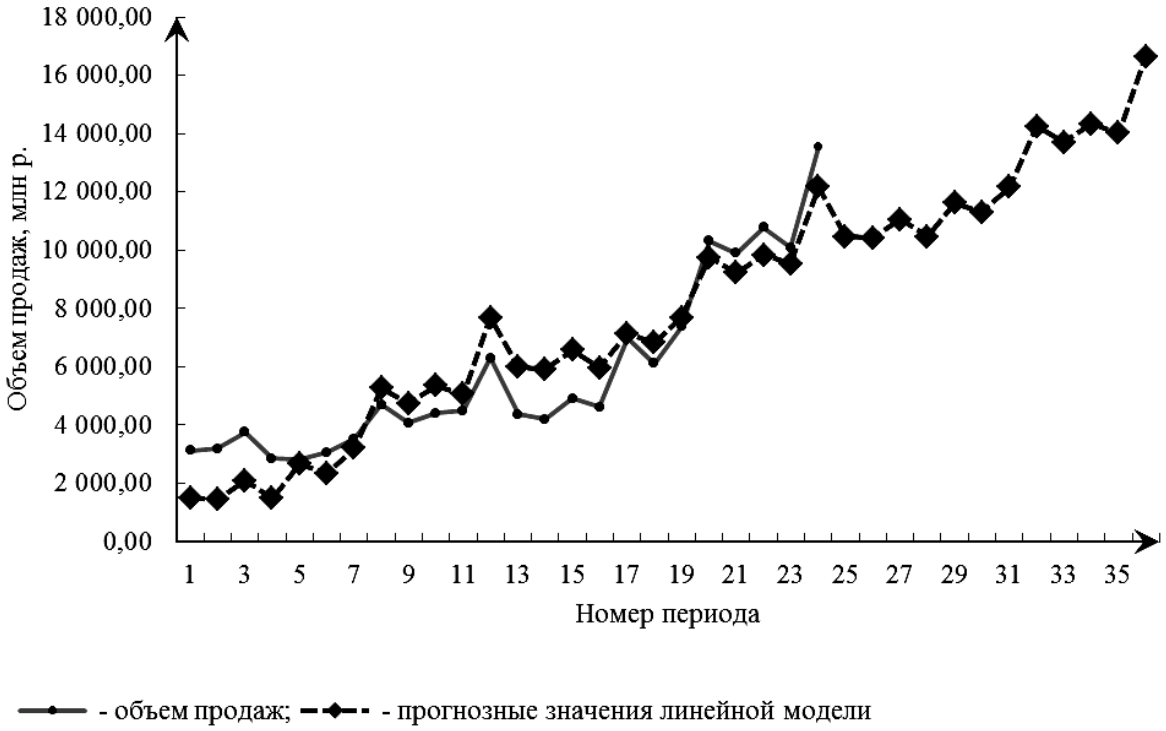


Рис. 2. Прогнозные значения линейной модели

Доверительный интервал представлен на рис. 3. Верхняя граница интервала показывает максимально возможный уровень объема продаж в рамках модели, нижняя – минимально возможный.

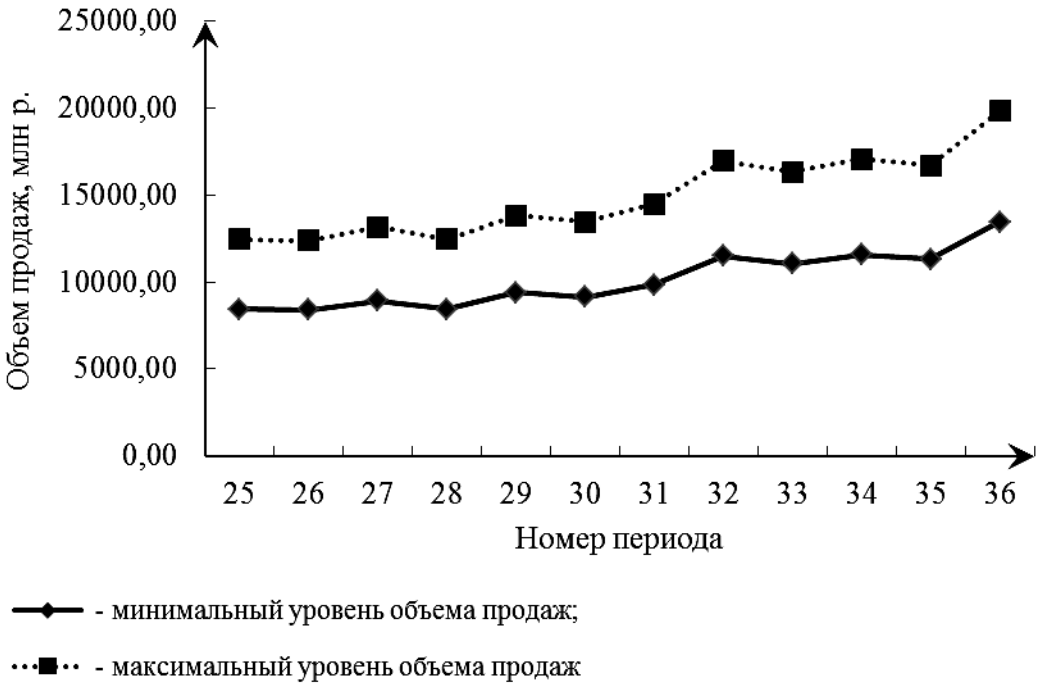


Рис. 3. Доверительный интервал прогнозируемых значений

В представленной модели перспективного анализа прогнозные данные уровня продаж скорректированы с учетом колебаний спроса при условии точности расчетов в модели 81 %.

Для прогнозирования объема продаж на более длительный период необходимы данные минимум за четыре–шесть сезонов (лет). Чем больше периодов, тем точнее данные модели.

По результатам модели можно сделать вывод о том, что наибольшие колебания наблюдаются в апреле, июне, августе, декабре. Они обусловлены образом жизни покупателей, традиционными праздниками.

Повышение объема продаж в августе вызвано подготовкой к одному из самых значимых праздников в Республике Беларусь – Новому Году, в т. ч. Рождеству. Значительный рост объемов продаж происходит по таким группам товаров, как продовольственные товары; подгруппам непродовольственных товаров: электрические приборы, игрушки, компьютерная техника, телефоны.

На снижение спроса в апреле и июне влияет накопительный характер поведения покупателей: многие планируют отдых летом и соответственно увеличиваются суммы сбережений на покупку путевок. Часть сбережений населения направлена на будущие расходы (покупка новой техники, ремонты и т. д.).

Таким образом, разработанная модель может быть использована для более эффективного управления продажами предприятия. Колебания спроса и их особенности требуют дальнейшего изучения, так как они значительно влияют на объем продаж торговой организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы прогнозирования объема продаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http : // www.ippnou.ru / print / 000511/.

2. Прогнозирование объемов продаж продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http : // www.sibe.ru / pr_doklad0316.aspx.

3. Алгоритм прогнозирования объёма продаж в MS Excel [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http : // www.cfin.ru / finanalysis / sales_forecast.shtml.

4. Доработка алгоритма прогнозирования объема продаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http : // www.cfin.ru / finanalysis / math / add_to_kosh.shtml.

5. Экономика организаций торговли : учеб. пособие / Под ред. Р. П. Валевич, Г. А. Давыдовой. – Минск : БГЭУ, 2010. – 671 с.

6. **Захарова, Ю. А.** Торговый маркетинг: эффективная организация продаж : практ. пособие / Ю. А. Захарова. – М. : Дашков и К, 2011. – 136 с.

Статья сдана в редакцию 8 октября 2012 года

Лариса Владимировна Наркевич, канд. экон. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-31-06-00.
Ксения Петровна Боровикова, студент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-31-06-00. E-mail: kseniya.p.b@gmail.com.

Larisa Vladimirovna Narkevich, PhD (Economics), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-31-06-00.
Kseniya Petrovna Borovikova, student, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-31-06-00. E-mail: kseniya.p.b@gmail.com.

ВЕСТНИК
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 – 2013

Ответственный за выпуск	В. И. Кошелева
Художественное оформление обложки	И. А. Алексеюс
Дизайн и компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать 26.02.2013. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 14,0. Тираж 100 экз. Заказ № 189.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/0548519 от 16.06.2009.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.