
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-

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 выполненными работами – 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.

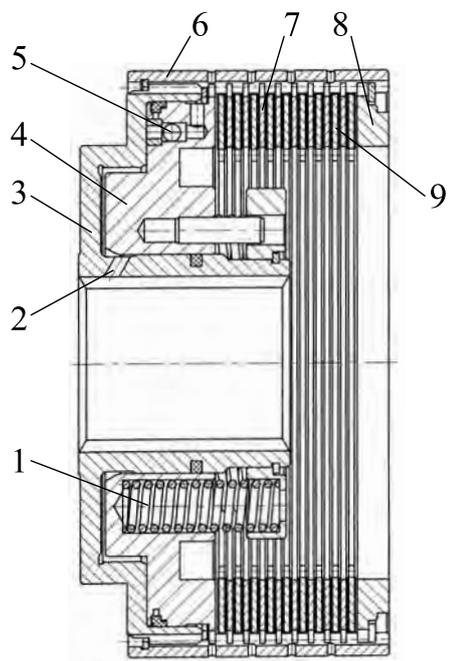
Конструкция фрикциона представлена на рис. 1. Фрикцион состоит из корпуса гидроцилиндра 3, поршня 4, зубчатого венца 6, комплекта фрикционных дисков 7 и 9, опорного диска 8, возвратных пружин 1. Корпус гидроцилиндра снабжен прямобочными шлицами, которыми он сопрягается с валом коробки передач. В корпусе 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 боль-

шой скорости вращения, а также предотвращения преждевременного спекания дисков в поршне установлен шариковый клапан слива 5.

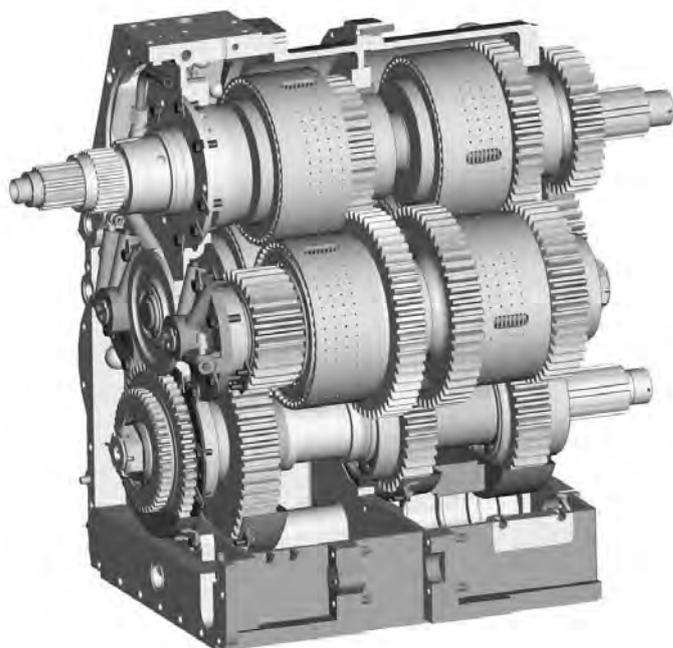
Однако фрикционы ГМП изначально являются самым «слабым звеном» конструкции, что в значительной мере лимитирует надежность и долговечность трансмиссии и всей машины в целом.

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 анали-*

за 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).

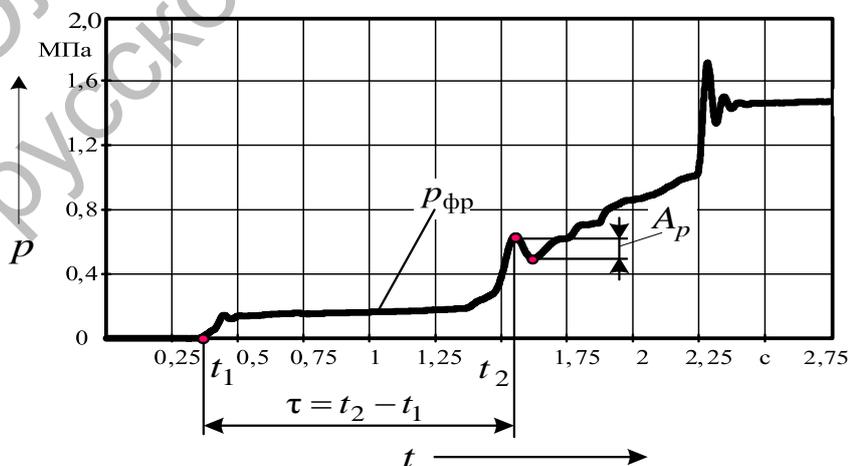


Рис. 2. Изменение давления во фрикционе включаемой передачи

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 °С 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 установленном 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 t 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 ам-

плитуду 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_y от числа n_b включений фрикциона $Q_y = f(n_b)$, приведенная на рис. 4 (см. также [1, с. 325]). Рис. 4 иллюстрирует зависимость утечек $Q_{y,k}$ из-под уплотнительного кольца и по шлицам от числа включений n_b 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

$$h = \frac{Q_y t_{\Pi}}{A_{\Pi}},$$

где A_{Π} – площадь поршня, м²; t_{Π} – 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 самосвалов БелАЗ, модернизированной бортовой системой активного диагностирования ГМП).

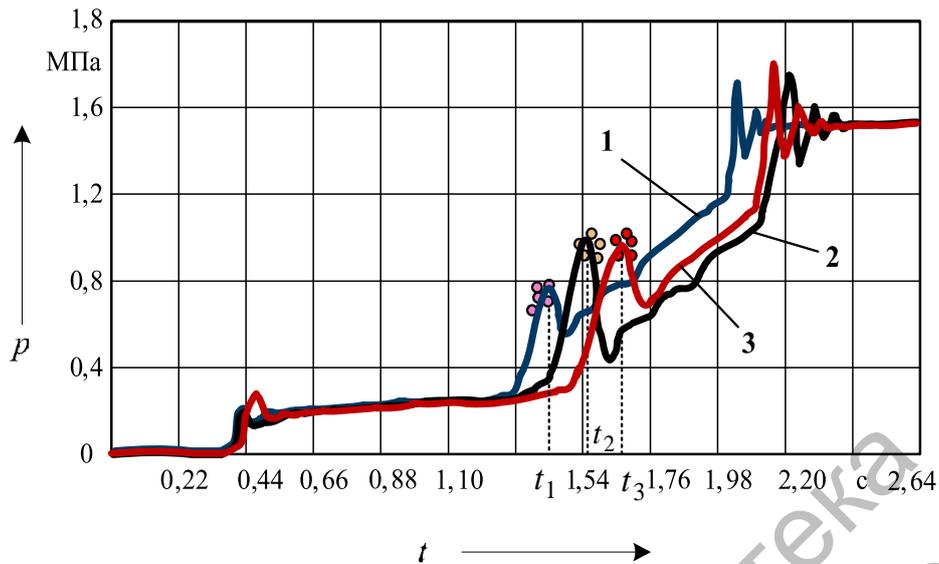


Рис. 3. Характеристики изменения давления во фрикционе ГМП при различных наработках: 1 – начальный износ дисков, наработка ГМП 20000 ч; 2 – допустимый износ дисков, наработка ГМП 45000 ч; 3 – критический износ дисков, наработка ГМП 70000 ч

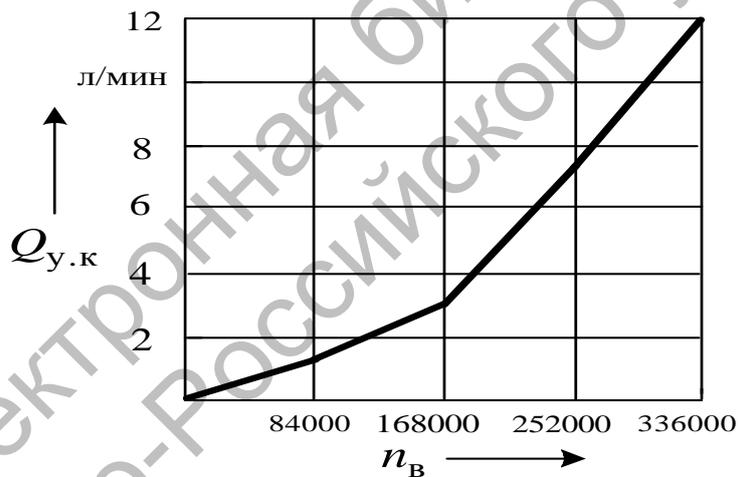


Рис. 4. Зависимость утечек из-под уплотнительного кольца от числа включений фрикциона

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

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

где σ_s и \bar{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	$V_{pp.k}$	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 В 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.