

УДК 621.892

Е. Н. Волнянко, И. В. Царенко

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПАРЕ ТРЕНИЯ СТАЛЬ–ПОЛИФОРМАЛЬДЕГИД

UDC 621.892

Y. N. Volnianko, I. V. Tsarenko

PECULIARITIES OF GREASE APPLICATION IN THE STEEL–POLYFORMALDEHYDE FRICTION PAIR

Аннотация

Исследованы триботехнические и реологические характеристики пары трения сталь–полиформальдегид, разделенной пластичными смазочными материалами, импортируемыми в Республику Беларусь. Образцы со смазками Лимол, Литол-24 и LFT71-402 имеют значительные показатели износа при испытании на четырехшариковой машине трения и высокие значения массового износа пары трения сталь–полиформальдегид. Наилучшие результаты по критерию минимизации износа получены на образцах с пластичной смазкой ШРБ-4, которая рекомендована для проведения стендовых испытаний и, если результаты положительны, использования в шаровых шарнирах с вкладышем из полиформальдегида.

Ключевые слова:

смазочные материалы, триботехнические характеристики, реологические характеристики, шаровые шарниры, пара трения.

Abstract

The paper presents the study of tribotechnical and rheological characteristics of the steel–polyformaldehyde friction pair with greases imported into Belarus. Samples with Limol, Litol-24, LFT71-402 greases have had considerable wear indices when tested in the four-ball tribometer and high values of mass wear of the steel–polyformaldehyde friction pair. Samples with the ШРБ-4 grease have shown the best results according to the wear minimization criterion, and this grease has been recommended for bench testing and, in case of obtaining positive results, for using in ball-and-socket hinges with a polyformaldehyde liner.

Key words:

greases, tribotechnical characteristics, rheological characteristics, ball-and-socket hinges, friction pair.

Введение

Огромное значение в промышленно развитых странах придается снижению материальных затрат, связанных с процессами трения и изнашивания, которые уменьшают эффективность технологических процессов, ухудшают работу машин и механизмов, увеличивают энергетические потери [1]. Считают, что снижение трения позволяет уменьшить потребление энергии на 4,5 % [2]. Как известно, минимизацию потерь на тре-

ние и износ трибосопряжений обеспечивают три основные составляющие: конструкция трибосопряжения, морфология сопряженных поверхностей и эффективность смазочного материала. Совершенствованию смазочных материалов, подбору и прогнозированию эксплуатационных свойств уделяют особое внимание, поскольку, как показывает практика, зачастую качеством применяемого смазочного материала определяется работоспособность механизма в целом [3]. Важнейшей тенденцией со-

временного развития техники является снижение доли металлических комплектующих, используемых в машинах и механизмах, путем замены их полимерными или композитными материалами. Это приводит к уменьшению стоимости, массы, повышению коррозионной стойкости и, как следствие, надежности разрабатываемых устройств [4]. Однако применение новых материалов в трибосопряжениях ставит перед материаловедами актуальную задачу подбора эффективно работающих смазочных материалов.

Работа посвящена исследованию основных триботехнических характеристик пары трения сталь–полиформальдегид, используемых в различных механизмах, в частности, в шаровых шарнирах. Остро стоит задача снижения износа таких узлов трения, повышения их надежности за счет введения в качестве смазочного материала пластичных смазок. Предварительные исследования показали, что в шаровых шарнирах необходимо применение смазки, которая способствует плавности хода, снижению износа, препятствует попаданию инородных тел в узел трения. Был выбран ряд смазочных материалов, по своим техническим характеристикам удовлетворяющих вышеуказанным требованиям. Цель работы: выявить смазочный материал, способствующий оптимальной работе узла трения и удовлетворяющий критерию минимизации износа пары трения.

Методика экспериментов

Материалы. Для исследований использовали смазочные материалы:

- Литол-24 (ГОСТ 21150-87) – производство ЗАО «Металлкомэкс», г. Трехгорный, Челябинская обл., Россия;
- ШРБ-4 (ТУ У 24.6-00152365-172-2003), Лимол (ТУ У 38.301-48-54-95) – производство ВАТ «Азовськи мастила і оливи», г. Бердянск, Украина;
- LFT71-402 – производство «Клубер Лабрикейшн» (Kluber Lubri-

cation), г. Мюнхен, Германия.

Для проведения триботехнических испытаний применяли ролики из стали 40X (ГОСТ 4543), вкладыши из полиформальдегида Ultraform № 2320-003 химической компании BASF, Германия.

Методы исследований. Для стандартизированных характеристик смазочных материалов использовали:

- метод определения предела прочности и термоупрочнения (ГОСТ 7143);
- метод определения смазывающих свойств на четырехшариковой машине (ГОСТ 9490);
- метод определения эффективной вязкости на ротационном вискозиметре (ГОСТ 26581);
- метод определения температуры каплепадения (ГОСТ 6793).

Дополнительно трибологические характеристики (коэффициент трения, износ) определяли на машине трения СМТ-1, где была реализована схема вал–частичный вкладыш, представленная на рис. 1. В качестве вала использовали ролик диаметром 40 мм и шириной 12 мм из стали 40X с исходной шероховатостью $Ra \leq 0,2$ мкм. Вкладышем служил сектор, вырезанный из полиформальдегидного кольца (ширина – 10 мм, внутренний диаметр – 40 мм, наружный – 60 мм). Образцы перед испытаниями и после них обезжиривали гексаном. Проводили часовые испытания. Износ образцов определяли гравиметрическим способом на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Методом оптической микроскопии оценивали морфологию поверхностей трения. Используя оптический микроскоп NU-2 с цифровой камерой, получили изображение поверхностей пятен износа, формы дорожек трения стальных шариков.

Результаты и их обсуждение. Пластичные смазочные материалы, в том числе и исследуемые в работе, являются мыльно-масляными коллоидными системами, основа структурного каркаса (дисперсной фазы) которых – мыльные волокна, дисперсионная среда – масло.

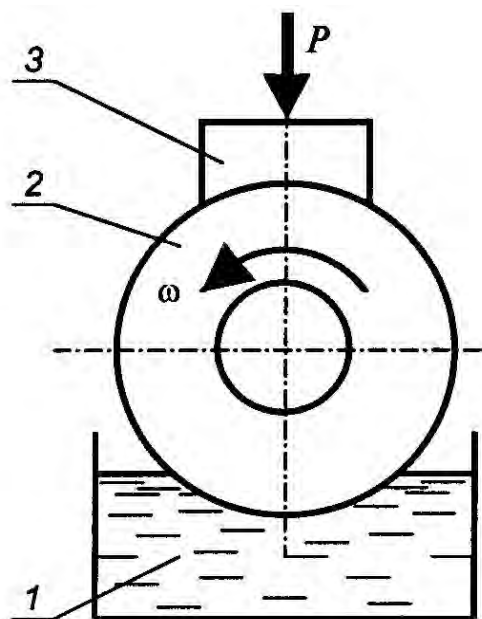


Рис. 1. Схема вал-частичный вкладыш триботехнических испытаний на машине трения СМТ-1: 1 – емкость со смазкой; 2 – ролик («вал»); 3 – образец «частичный вкладыш»

Также в состав указанных систем входят функциональные присадки. Силы межмолекулярных связей в структурном каркасе определяются главным образом формой, размером, химической природой мыльных волокон и присадок. Структура смазочных материалов оказывает непосредственное влияние на их эксплуатационные характеристики, в частности, на упругопластичные и прочностные, такие как температура каплепадения и предел прочности. Предел прочности – одна из наиболее важных специфических характеристик пластичных смазок. Именно этот показатель позволяет определить максимальное деформационное воздействие, при котором пластичная смазка разрушается. Невысокий предел прочности характерен для пластичных смазок, которые имеют, как правило, низкую несущую способность смазочного слоя, легко сбрасываются с трущихся деталей, вытекают из негерметизированных узлов трения. Однако слишком высокий предел прочности также отрицательно сказывается на работоспособности три-

босопряжений. Плотные смазки не поступают к трущимся поверхностям, поэтому в зоне трения могут иметь место явления схватывания и задира, увеличения локальной температуры и износа. Возникают трудности при извлечении смазочных материалов из тары и пропуске через трубопроводы. Применительно к шаровым шарнирам смазочный материал должен иметь предел прочности, достаточно высокий для исключения вытекания из узла трения и, вместе с тем, обеспечивающий постоянную смазку сопряженных поверхностей [5].

Температура каплепадения характеризует температурный диапазон работоспособности пластичной смазки, определяет максимальную температуру, при которой структурный каркас еще сохраняет прочность, а пластичная смазка – свойства твердого тела. Температура каплепадения является косвенным показателем, характеризующим температуру плавления смазок, поскольку зафиксировать точку плавления сложных многокомпонентных систем, которыми являются пластичные смазки,

не удается [6]. Результаты лабораторных испытаний смазочных материалов по определению предела прочности и

температуры каплепадения исследуемых смазочных материалов представлены в табл. 1.

Табл. 1. Упругопластичные и прочностные характеристики пластичных смазок

Характеристики		Смазочный материал			
		ШРБ-4	Литол-24	Лимол	LFT71-402
Предел прочности на сдвиг, Па	20 °С	274	980	220	431
	50 °С	147	823	170	392
	80 °С	49	470	147	235
Температура каплепадения, °С		Св. 205	186	175	163

Показано, что наименьшее значение предела прочности имеет Лимол. Очевидно, что при недостаточной герметизации узла трения этот смазочный материал будет вытекать, что недопустимо при эксплуатации механизмов. Остальные пластичные смазки по критерию предела прочности могут быть использованы для смазки шаровых шарниров. Сопоставляя предел прочности и температуру каплепадения смазочных материалов, можно утверждать, что Литол-24 имеет прочностные и упругопластичные характеристики, наиболее удовлетворяющие условиям эксплуатации трибосопряжения. Однако следует обратить внимание на пластичную смазку ШРБ-4. При невысоких значениях предела прочности на сдвиг в условиях повышенных температур (80 °С) смазка имеет температуру каплепадения более 205 °С. Этот феномен позволяет предположить, что при определенных температурах могут происходить физико-химические процессы, способствующие стабилизации структуры смазочного материала [7].

Основная цель применения смазочных материалов в машинах – это минимизация износа узла трения. Для оценки противоизносных характеристик пластичных смазок использовали четырехшариковую машину трения. Показатель износа – это усредненный диаметр пятна износа шарика после трения в те-

чение 1 ч при нагрузке 392 Н. Противоизносные характеристики смазочных материалов зачастую отрицательно коррелируют с противозадирными. Хорошие противозадирные свойства часто определяют упорядоченный, интенсивный износ сопряженных поверхностей. Однако при невысоких скоростях скольжения и небольших нагрузках требования к противозадирным и противоизносным характеристикам пластичных смазок невелики. В этом случае основная функция смазочного материала сводится к надежному разделению трущихся поверхностей. В тяжело нагруженных узлах трения, работающих в течение длительного времени, противоизносные свойства приобретают первостепенное значение [5]. В табл. 2 представлены критическая нагрузка заедания (основной показатель противозадирных свойств пластичных смазок) и показатель износа. Лимол обладает очень хорошими противозадирными свойствами, в связи с чем не удается определить критическую нагрузку заедания методом, предложенным в государственном стандарте. Но показатель износа этого смазочного материала самый большой из показателей износа предложенных пластичных смазок. Лучшие противоизносные свойства и удовлетворительные противозадирные показала смазка ШРБ-4. Литол-24 – несколько хуже, его показатель износа

имеет достаточно большой разброс. Противозадирные свойства LFT71-402 значительно лучше свойств ШРБ-4 и Литола-24.

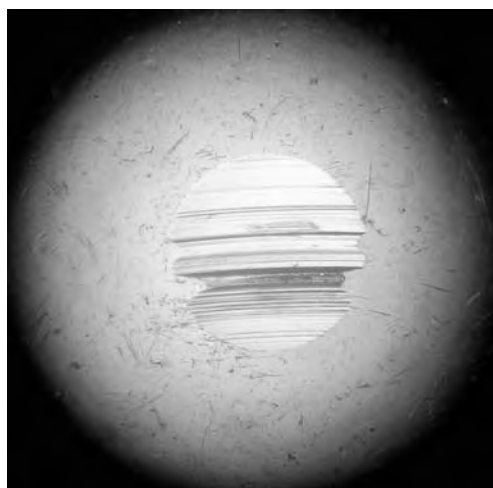
Для определения особенностей из-

нашивания образцов в среде каждой испытуемой пластичной смазки методом оптической микроскопии получены изображения пятен износа (рис. 2).

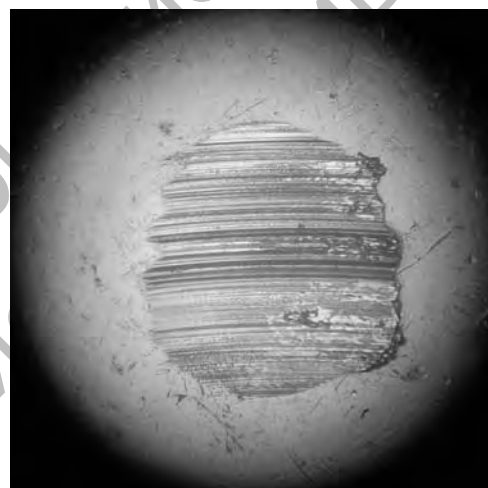
Табл. 2. Триботехнические характеристики пластичных смазок

Характеристики		Смазочный материал			
		ШРБ-4	Литол-24	Лимол	LFT71-402
Критическая нагрузка заедания, Н		696	588	Св. 1500	980
Показатель износа при 392 Н	d_{\min} , мм	0,67	0,81	0,83	0,77
	d_{\max} , мм	0,60	0,80	0,84	0,78

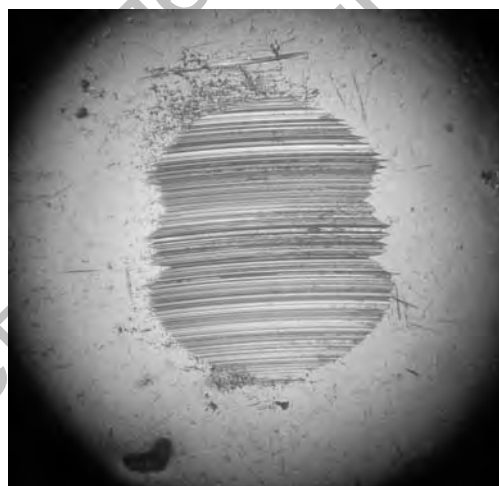
а)



б)



в)



г)

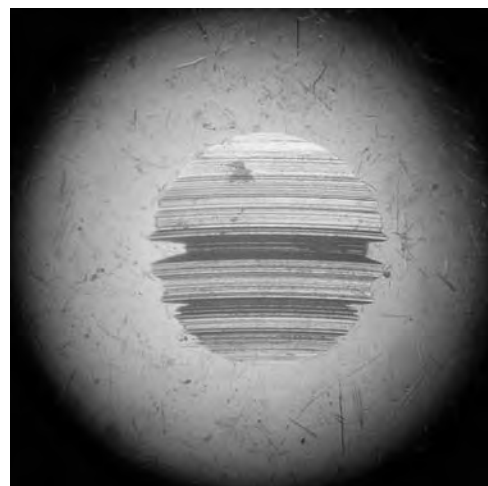


Рис. 2. Пятна износа стальных шариков после трения на четырехшариковой машине трения при нагрузке 392 Н, 1 ч ($\times 40$): а – ШРБ-4; б – Литол-24; в – Лимол; г – LFT71-402

При трении с пластичной смазкой Литол-24 (см. рис. 2, б) наблюдались каверны и следы глубинного вырывания металла, что характерно для абразивного изнашивания и свидетельствует о неэффективном действии смазочного материала. Пятно износа (см. рис. 2, в) имеет эллиптическую форму и значительную площадь. Наблюдалось активное расширение зоны контакта под воздействием динамических нагрузок.

Особенность формирования этой зоны указывает на наличие изнашивания, обусловленного кавитацией. Применение смазки LFT71-402 приводит к уменьшению пятна износа по сравнению с применением смазок Литол-24 и Лимол. Однако дорожки трения неоднородны по глубине и длине, что свидетельствует об интенсивном коррозионно-механическом изнашивании. По результатам этого эксперимента лучшей

оказалась смазка ШРБ-4, при использовании которой образец имеет малый диаметр и удовлетворительную морфологию пятна износа [5].

Испытания на четырехшариковой машине трения информативны и важны. Однако они не полностью отражают процессы, имеющие место в конкретном узле трения – шаровом шарнире, где материал пальца – сталь, а вкладыша – полиформальдегид. Для оценки влияния материала контртела на триботехнические характеристики узла трения провели дополнительные испытания на машине трения СМТ-1 по схеме вал-частичный вкладыш. Причем материал вкладыша – полиформальдегид, а ролика – сталь. Сопряженные поверхности разделены испытываемыми смазочными материалами. Результаты испытаний представлены в табл. 3 и 4.

Табл. 3. Результаты испытаний пластичных смазок на машине трения СМТ-1 при нагрузке 0,5 МПа

Характеристики	Смазочный материал							
	ШРБ-4		Литол-24		Лимол		LFT71-402	
	Скорость вращения вала							
	0,16 м/с	0,63 м/с	0,16 м/с	0,63 м/с	0,16 м/с	0,63 м/с	0,16 м/с	0,63 м/с
Коэффициент трения f	0,13	0,15	0,072	0,078	0,069	0,078	0,070	0,078
Износ Δm , г	Нет	0,0001	Нет	Нет	0,0010	0,0018	0,0001	0,0003

Табл. 4. Результаты испытаний пластичных смазок на машине трения СМТ-1 при нагрузке 2 МПа

Характеристики	Смазочный материал			
	ШРБ-4	Литол-24	Лимол	LFT71-402
	Скорость вращения вала			
	0,63 м/с	0,63 м/с	0,63 м/с	0,63 м/с
Коэффициент трения f	0,13	0,12	0,10	0,14
Износ Δm , г	0,0002	0,0002	0,0254	0,0056

Испытания при нагрузке 3 МПа и заданных скоростях вращения показали, что исследуемые пластичные смазки не попадают в зону трения, вал не прокру-

чивается, происходит задир. В связи с этим выбран наиболее приемлемый режим эксплуатации – 2 МПа и 0,63 м/с. Шаровые шарниры – узлы трения, кото-

рые должны иметь достаточно большой ресурс. Замена смазочного материала в нем не предусмотрена в течение длительного времени, поэтому особое внимание уделено противоизносным свойствам используемых смазочных материалов. Таким образом (см. табл. 3 и 4), смазка LFT71-402 обладает хорошими антифрикционными характеристиками, однако имеет повышенный износ. Лимол в узле трения ведет себя, как прирабочная паста. Такой тип смазок обычно используют в тяжело нагруженных парах трения (особенно для облегчения приработки) для смазки резьбовых соединений. Минимальный износ полиформальдегидного вкладыша обеспечивают пластичные смазки ШРБ-4 и Литол-24. Следует отметить, что при нагрузке 2 МПа зафиксировали одинаково низкое значение износа для этих смазок при несколько различном значении коэффициента трения. По-видимому, это обусловлено точностью измерительных инструментов, вероятно, недостаточной для определения количественных различий в значении износа, тем более, что в таблицах представлены усредненные значения ряда испытаний. Эти значения позволяют констатировать, что смазки ШРБ-4 и Литол 24 обеспечивают значительно более высокие противоизносные характеристики пары трения сталь–полиформальдегид, чем смазки Лимол и LFT71-402.

Важнейшим показателем, отвечающим за пусковые характеристики механизма, является вязкость. Усилие запуска всегда определяется в основном вязкостью смазочного материала. Непосредственно кинематическую вязкость пластичных смазок невозможно оценить из-за ее высоких значений, низкой скорости истечения смазки из капилляра вискозиметра. Так как вязкость пластичных смазок зависит от скорости деформации, стандартом определено понятие «эффективная вязкость», обозначающее вязкость ньютоновской жидкости, оказывающей при данном режиме течения такое же сопротивление сдвигу, как и смазка. При повышении скорости деформации вязкость смазки как неньютоновской жидкости уменьшается. Эффективную вязкость изучали на ротационном вискозиметре типа Реотест 2. Оценивали ее при различных температурах и скоростях деформации. Хорошие реологические характеристики показала пластичная смазка ШРБ-4, что подтверждает возможность использования ее в широком диапазоне температур, включая отрицательные (табл. 5). Пластичная смазка LFT71-402, предложенная фирмой-производителем в качестве специальной для низких моментов трения в сферических шарнирах [8], имеет реологические характеристики ниже, чем многоцелевая пластичная смазка Литол-24.

Табл. 5. Реологические характеристики пластичных смазок

Характеристики			Смазочный материал			
			ШРБ-4	Литол-24	Лимол	LFT71-402
Эффективная вязкость, Па · с	-10 °С	Градиент скорости деформации, $10 \cdot \text{с}^{-1}$	417	500	1677	440
	0 °С		331	110	28	115
	25 °С	Градиент скорости деформации, $100 \cdot \text{с}^{-1}$	23	8,567	4,500	5,083
	40 °С		15	8,500	3,530	3,667

Заключение

Очевидно, что на машинах трения можно лишь предварительно, несколько приближенно оценивать триботехнические свойства смазочных материалов для реальных узлов трения, однако сравнительные испытания пластичных смазок при одинаковых внешних воздействиях и параметрах проведения эксперимента свидетельствуют о корректности сделанных выводов:

– наиболее целесообразно использовать для дальнейших стендовых испытаний шаровых шарниров пластичные смазки ШРБ-4 и Литол-24. Пара трения ролик из стали 40Х и вкладыш из полиформальдегида имеет наименьший износ именно при использовании вышеуказанных пластичных смазок.

Следует отметить также, что смазки ШРБ-4 и Литол-24 имеют необходимые для эксплуатации шаровых шарниров значения эффективной вязкости и коэффициента трения;

– Лимол по показателю износа, эффективной вязкости, массовому износу не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к смазочным материалам для шаровых шарниров;

– LFT71-402 по показателю износа занимает промежуточное положение между ШРБ-4 и Литолом-24, однако при испытаниях по схеме вал-частичный вкладыш имеет место достаточно высокое значение массового износа, что не позволяет рекомендовать эту смазку для использования в шаровых шарнирах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джост, Х. П. Прошлое и будущее трибологии / Х. П. Джост // Трение и износ. – 1990. – № 1. – С. 149–159.
2. Кламанн, Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты / Д. Кламанн. – М. : Химия, 1988. – 488 с.
3. Сорокин, Г. М. Проблемы технического обновления различных отраслей машиностроения / Г. М. Сорокин // Трение и износ. – 2001. – № 3. – С. 349–353.
4. Савицкий, В. Я. Оценка эффективности замены традиционных узлов трения на полимерные / В. Я. Савицкий // Новые промышленные технологии. – 1999. – Вып. 4–5 (291–292). – С. 65–72.
5. Сеницын, В. В. Подбор и применение пластичных смазок / В. В. Сеницын. – М. : Химия, 1974. – 416 с.
6. Топливо. Смазочные материалы. Технические жидкости. Ассортимент и применение : справочник / Под ред. В. М. Школьников. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.
7. Ивахник, В. П. Исследование процесса структурообразования дисперсной фазы комплексной литевой смазки / В. П. Ивахник, В. И. Жорник, Л. В. Маркова // Материалы, технологии, инструмент. – 2006. – № 4. – С. 60–65.
8. Рекламный сайт фирмы «Клубер Лабрикейшн» (Kluber Lubrication) [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://www.Klubersolutions.com/pdfs/Klubergrease%20LFT%2071-402.pdf>.

Статья сдана в редакцию 15 октября 2013 года

Елена Николаевна Волнянко, канд. техн. наук, доц., ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси». Тел.: +375-232-70-18-45. E-mail: volniano@mail.ru.

Ирина Владимировна Царенко, канд. техн. наук, доц., УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого». Тел.: +375-232-74-52-67. E-mail: tsarenko2002@yahoo.com.

Yelena Nikolayevna Volniano, PhD (Engineering), Associate Prof., GNU «V. A. Belyi Metal Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus». Phone: +375-232-70-18-45. E-mail: volniano@mail.ru.

Irina Vladimirovna Tsarenko, PhD (Engineering), Associate Prof., UO «P. O. Sukhoi Gomel State Technical University». Phone: +375-232-74-52-67. E-mail: tsarenko2002@yahoo.com.