

УДК 629.3

*С. А. Рынкевич, А. Н. Егоров, В. П. Тарасик, А. Н. Максименко*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ С ГМП, ОСНАЩЕННЫХ БОРТОВЫМИ СИСТЕМАМИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

UDC 629.3

*S. A. Rynkevich, A. N. Yegorov, V. P. Tarasik, A. N. Maksimenko*

**INCREASING THE OPERATING EFFICIENCY OF BELAZ QUARRY DUMP TRUCKS WITH HMT, EQUIPPED WITH ONBOARD DIAGNOSING SYSTEMS**

**Аннотация**

В статье отмечается, что эффективность работы горно-обогатительных предприятий определяется уровнем комплексной механизации технологических процессов, причем основную часть затрат на изготовление готовой продукции этими предприятиями составляют транспортные расходы, которые выполняются комплектом машин, среди которых важнейшей единицей являются карьерные самосвалы. Проведен анализ безотказности сборочных единиц и систем карьерных автосамосвалов. Приведены мероприятия по повышению показателей работоспособности карьерных самосвалов. Дана методика прогнозирования годового экономического эффекта от внедрения и использования на карьерных самосвалах бортовой системы автоматического диагностирования гидромеханических передач.

**Ключевые слова:**

эксплуатация, карьерный самосвал, техническое состояние, гидромеханическая передача, диагностирование, производительность, прибыль, экономический эффект, работоспособность, износ, себестоимость, предельное состояние.

**Abstract**

The papers shows that the operating efficiency of ore-dressing enterprises is determined by the level of technological processes mechanization, with transport costs being the major expenses on producing the finished product by these enterprises, and quarry dump trucks are the most important item of the set of equipment used by them. The analysis of reliability of assemblies and systems of quarry dump trucks is given. Measures aimed at improving the serviceability of quarry dump trucks are presented. The paper gives the techniques of forecasting annual economic effect of introducing and using on-board systems of hydromechanical transmissions automatic diagnosing.

**Key words:**

operation, quarry dump truck, technical state, hydromechanical transmission, operating efficiency, profit, economic effect, operating capacity, wear, cost price, limiting state.

**Введение**

Эффективность работы горно-обогатительных предприятий определяется уровнем комплексной механизации технологических процессов. Основную часть затрат на изготовление готовой продукции этими предприятиями составляют транспортные расходы, которые выполняются комплектом машин в

составе экскаваторов, погрузчиков, бульдозеров и карьерных самосвалов. Результаты применения комплекта оцениваются выходными параметрами и стоимостью каждой машины. К основным выходным параметрам машины, влияющим на себестоимость единицы продукции, относятся: производительность, количество рабочего времени, коэффициент технического использова-

ния, коэффициент внутрисменного режима работы и себестоимость машиночаса. Повышение производительности, безопасности управления, количества рабочего времени и снижение себестоимости машиночаса составляют основу совершенствования конструкции машины. Механизмом, лимитирующим безотказную работу на объекте автосамосвалов, является гидромеханическая передача (ГМП). Повышение показателей ее работоспособности является важнейшей задачей совершенствования конструкций самосвалов и прогнозирования безотказной работы их на объекте.

#### **Анализ безотказности сборочных единиц, систем и агрегатов карьерных автосамосвалов**

Анализ отказов ГМП разных типов при эксплуатации карьерных самосвалов показал, что свыше 90 % отказов составляют частичные и лишь около 10 – полные, причем 78 % полных отказов обусловлены потерей функциональной работоспособности гидроприводов и их элементов, 12 % – разрушениями механических элементов и 10 % – внешней и внутренней негерметичностью гидропривода [2]. Статистический анализ отказов ГМП карьерных самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 45...60 т показал, что относительные доли внезапных и постепенных отказов гидроприводов примерно равны и составляют около 50 % [2]. Это обстоятельство подчеркивает важность и необходимость бортового диагностирования и оперативного прогнозирования ГМП, что позволит практически исключить возникновение внезапных отказов самосвалов.

Результаты сравнительного количественного анализа отказов ГМП приведены на рис. 1 в виде диаграмм, характеризующих относительную долю каждого типа отказов. Сравнительный анализ отказов (рис. 1, а) показывает, что 34 % их вызваны отсутствием функционирования механизма ГМП или его

элементов (1), 19 % – внешней негерметичностью (2), 15 % – несоответствием параметров уровням, нормируемым технической документацией (3), 12 % – повреждением и разрушением механических элементов конструкции гидроприводов (4), 9 % – повышенными внутренними утечками (5), 7 % – нарушением температурных режимов ГМП (6) и 4 % – засорением рабочей жидкости (7). Сравнительный анализ «слабых звеньев» (рис. 1, б) показывает, что 36 % отказов в период эксплуатации, связаны с уплотнениями (1), 30 % – с механическими повреждениями, в том числе фрикционных (2), 19 % – с гидромеханическими элементами (3), 6 % – с клапанами (4), 5 % – с электрическими элементами (5), 4 % – с повреждением фильтров (6). Таким образом, по критерию относительной частоты возникновения отказов ГМП к наименее надежным элементам ГМП относятся *уплотнения, механические и гидромеханические элементы*. На их долю приходится 85 % всех отказов ГМП.

Следует отметить, что материальные затраты при отказе автосамосвала в карьере являются весьма значительными, причем эти отказы и вынужденные простои техники, во-первых, нарушают производственный цикл, во-вторых, создают большие проблемы при транспортировке неисправной машины из карьера с последующим демонтажем ГМП.

Одним из важнейших параметров оценки работоспособности ГМП является объемный КПД.

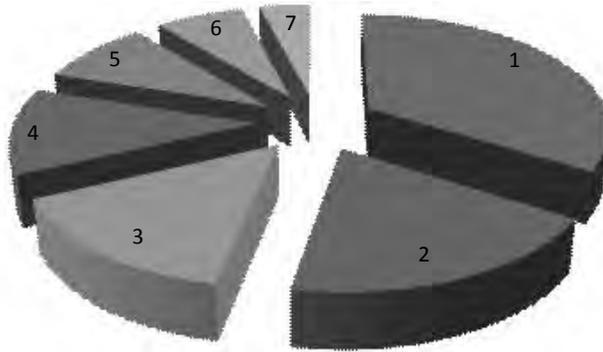
Установлено, что для группы ГМП машин область снижения объемного КПД будет ограничена кривыми

$$\eta_{01} = B - A_1 t^2; \quad \eta_{02} = B - A_2 t^2, \quad (1)$$

где  $B$  – начальное значение объемного КПД;  $A_1, A_2$  – параметры модели (1), определяющие темп снижения объемного КПД.

В табл. 1 представлены данные, полученные по результатам наблюдений.

а)



б)

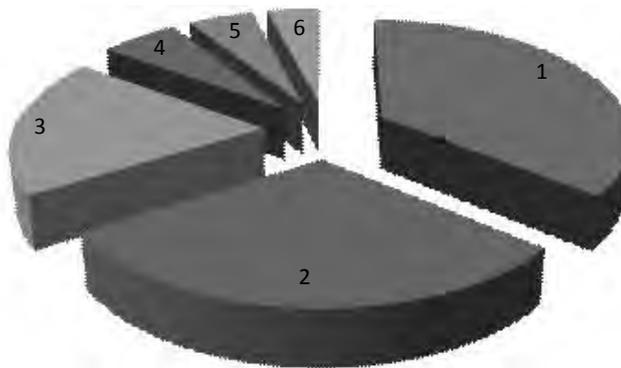


Рис. 1. Процентное соотношение между основными видами отказов ГМП: а – анализ по общим видам отказов; б – анализ по методу «слабых звеньев»

Табл. 1. Параметры характеристик изменения объемного КПД гидроприводов

Вид гидропривода	Автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью 45...60 т	
	$\frac{A_{\max} + A_{\min}}{A_{\text{ср}}}$	<i>B</i>
Гидропривод ГМП	$\frac{0,012 + 0,065}{0,0385} \cdot 10^{-6}$	0,895
Система смазки	$\frac{0,008 + 0,050}{0,029} \cdot 10^{-6}$	0,94

Практически все отказы гидроаппаратов, кроме отказов по корпусу, вызваны неисправностями прецизионных поршневых и золотниковых пар, связанных с повышением трения в парах и износом деталей и, как следствие, с изменением линейных размеров и форм. Повышение трения имеет внезапный характер и приводит к зависанию или

заклиниванию подвижного элемента в корпусе или гильзе, запаздыванию в срабатывании, нарушению режимов слежения, кратковременному повышению давления выше нормы и, как следствие, разгерметизации системы, а также росту пульсаций давления. Износ деталей приводит к нарушению внутренней герметичности аппаратов и сни-

жению объемного КПД ввиду увеличенного расхода через зазоры. Повышенные утечки ведут к замедлению работы всего механизма в целом, т. е. к увеличению рабочего цикла машин и экономическим потерям. Таким образом, техническое состояние деталей насосов и гидродвигателей, золотниковых элементов и распределителей, соединений поршень–корпус в гидроцилиндрах однозначно характеризуется комплексом параметров, от которых зависит внутренняя негерметичность гидроаппарата, что дает право рассматривать объемный КПД как интегральный показатель состояния объекта.

Исследования показали, что гидроприводы автосамосвалов БелАЗ работают в средних и тяжелых режимах, которые характеризуются нестационарностью и высоким коэффициентом использования в течение смены при неблагоприятных условиях среды и сезонных колебаний температуры от  $-50$  до  $+50$  °С. Вследствие этого наработка на отказ элементов гидропривода невелика и характеризуется значительным разбросом. Данные по наработке на отказ представлены в табл. 2. Таблица составлена по статистической информации об эксплуатации машин, собиравшейся в течение 1979–2009 гг. [2].

Табл. 2. Нарботка на отказ элементов гидропривода

Гидроаппарат	Нарботка на отказ $T$ , ч, $\frac{T_{\min} \div T_{\max}}{T_{\text{mid}}}$
	Автосамосвал БелАЗ-7555
Насосы шестерённые	$\frac{15000 \div 40000}{27500}$
Гидроцилиндры	$\frac{20000 \div 80000}{50000}$
Клапаны давления, клапаны предохранительные и переливные	$\frac{28000 \div 56000}{42000}$
Распределители золотниковые	$\frac{32000 \div 70000}{51000}$
Дроссели и регуляторы потока	$\frac{20000 \div 62000}{41000}$
Фильтры	$\frac{10000 \div 40000}{25000}$
Трубопроводы и шланги	$\frac{18000 \div 60000}{39000}$

### **Мероприятия по повышению показателей работоспособности карьерных автосамосвалов**

Эксплуатация строительно-дорожной и транспортной техники в составе горно-обогатительных предприятий и карьеров требует проведения ряда мероприятий по обеспечению и восстановлению работоспособности ее элементов. При этом важнейшей составляющей рассмотренного выше комплекта техники являются карьерные самосвалы, выполняющие транспортную работу.

Повышение показателей работоспособности и увеличение ресурса карьерных самосвалов достигается их модернизацией путем оснащения современными бортовыми системами управления и диагностирования. Эффективность использования и повышение работоспособности карьерных самосвалов за рассматриваемый период следует оценивать с учетом производительности, коэффициента технического использования, коэффициента внутрисменного использования, стоимости единицы полезно выполняемой работы, приведенной себестоимости выполнения этой

работы, оптимального роста прибыли и наработки окупаемости капитальных затрат на приобретение техники [1].

Получение максимального эффекта при эксплуатации карьерных самосвалов возможно при учете затрат на их изготовление, динамики изменения эксплуатационных затрат и производительности в зависимости от наработки, а также стоимости полезно выполняемой работы. При эксплуатации карьерных самосвалов следует наладить по каждой машине учет трудоемкости на поддержание и восстановление ее работоспособности, простоев на техническом обслуживании и в ремонте, расхода топлива, смазочных материалов и запчастей, объема выполняемых работ и наработки с начала эксплуатации. Индивидуальный подход при учете этих показателей позволяет определить наработку окупаемости затрат на приобретение машины, целесообразность проведения капитального ремонта и (или) списания машины и, что самое главное, получения максимальной прибыли.

Применение на оснащенных ГМП карьерных самосвалах БелАЗ бортовой микроэлектроники позволило выйти на совершенно новый уровень автоматизации управления и диагностирования этих машин [2, 3]. Созданный и внедренный сотрудниками кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета и специалистами ОАО БелАЗ комплекс бортовой микроэлектроники в виде мехатронных и интеллектуальных систем управления и диагностирования ГМП позволил обеспечить высокую производительность выполнения транспортной работы самосвалов, безопасность их движения, облегчить условия труда водителя, а также обеспечить безаварийное и безотказное функционирование механизмов трансмиссии [2–4]. При этом появились возможности для оперативного и высокоэффективного диагностирования основных элементов гидромеханической передачи автомобиля (в частности, фрикционов ГМП) в

процессе эксплуатации самосвалов, т. е. в режиме реального времени, причем без осуществления трудоемких процедур разборки и демонтажа этих сложных механизмов машин [5, 6].

**Методика прогнозирования годового экономического эффекта от внедрения и использования на карьерных самосвалах бортовой системы автоматического диагностирования ГМП**

В условиях рыночной экономики основным комплексным показателем эффективности использования машин является прибыль, которая зависит от объективно сформированной стоимости единицы выполняемой работы  $C_T$ , р./т; количества рабочего времени за рассматриваемый период  $T_q$ ; технической производительности  $\Pi_T$ , т/ч; себестоимости машиночаса  $C_{мч}$ , р./ч; комплексного показателя надежности – коэффициента технического использования  $k_T$ ; коэффициента внутрисменного режима работы  $k_B$ .

Положив в основу формализацию получаемой прибыли  $\Pi$ , р., от использования каждой машины, входящей в комплект, можно определить эффективность его использования с учетом приведения расчетов к одному часу эксплуатации конкретной машины по формуле

$$\Pi = \max \left[ \sum_{f=1}^K \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N \Pi_{fji} \right], \quad (2)$$

где  $\Pi$  – прибыль, полученная от работы  $i$ -й машины  $j$ -го типа  $f$ -го комплекта.

Прибыль от эксплуатации каждой машины представляет собой разность между полученной выручкой и затратами на эксплуатацию машины:

$$\Pi_{fji} = \left[ C_T \Pi_T k_B T_q - C_{мч} T_q k_H \right]_{fji}, \quad (3)$$

где  $k_H$  – коэффициент накладных расходов по предприятию, связанных с эксплуатацией парка машин.

Себестоимость механизированных работ  $C_e$ , р./т, с учетом себестоимости машиночаса и эксплуатационной производительности определяется по формуле

$$C_e = \frac{C_{мч} k_n}{P_T k_B} \quad (4)$$

Продолжительность выполнения запланированных объемов работ на объекте  $T_0$  определяется исходя из количества рабочих суток  $D_p$ , коэффициента сменности  $k_{см}$  и значения коэффициента технического использования, отражающего простои в технических обслуживаниях и ремонтах.

После подстановки и преобразования получаем для одной машины зависимость прибыли от выручки и себестоимости механизированных работ с учетом часовой эксплуатационной производительности и продолжительности выполнения работ [7]:

$$\Pi = (C_T - C_e) P_T k_B T_0 k_{тч}; \quad (5)$$

$$T_0 = D_p T_{см} k_{см},$$

где  $T_{см}$  – продолжительность смены, ч.

Применение модернизированных карьерных самосвалов обеспечивает повышение производительности, снижение простоев и увеличение количества рабочего времени и прибыли.

Прибыль от использования карьерного самосвала, модернизированного бортовой системой автоматического диагностирования, определяется по формуле [7]

$$\Pi = (C_T - C_e) P_T k_B D_p k_{см} T_{см}, \quad (6)$$

где  $P_T$  – техническая производительность, т/ч;  $k_B$  – коэффициент внутрисменного режима работы, получаемый по данным хронометража,  $k_B = 0,73$ ;  $D_p$  – количество рабочих суток за рассматриваемый период (за год) (для модернизированной машины увеличилось на 9 сут);  $C_T$  – отпускная цена единицы продукции (щебня) за вычетом НДС 20 %, р./т,  $C_T = 38888$  р./т.

Техническая производительность

$$P_T = q n_e \gamma, \quad (7)$$

где  $q$  – грузоподъемность автомобиля, т,  $q = 55$  т;  $n_e$  – число ездов, т. е. циклов, за один день,  $n_e = 20$ ;  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности,  $\gamma = 0,95$ .

Стоимость машиночаса определяется по формуле

$$C_{мч} = C_a + C_{зп} + C_{тсм} + C_{тор} + C_{б.и.д.}, \quad (8)$$

где  $C_a$  – амортизационные отчисления, р./маш.-ч;  $C_{зп}$  – заработная плата водителя самосвала,  $C_{зп} = 2600$  р./маш.-ч;  $C_{тсм}$  – стоимость топливно-смазочных материалов,  $C_{тсм} = 231400$  р./маш.-ч;  $C_{тор}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонты,  $C_{тор} = 60185$  р./маш.-ч;  $C_{б.и.д.}$  – затраты на замену быстроизнашивающихся деталей,  $C_{б.и.д.} = 2900$  р./маш.-ч.

Амортизационные отчисления на 1 маш.-ч рабочего времени определяются по формуле

$$C_a = \frac{CH_a}{100T_{ч}} \cdot K_{ин}, \quad (9)$$

где  $C$  – балансовая стоимость машины, р.;  $H_a$  – норма амортизационных отчислений, %;  $K_{ин}$  – коэффициент изменения нормы амортизационных отчислений;  $T_{ч}$  – количество часов рабочего времени в год, ч.

Определим по формуле (5) амортизационные отчисления на 1 маш.-ч рабочего времени для самосвала, не оснащенного бортовой диагностической системой:

$$C_a = \frac{560000000 \cdot 14,3}{100 \cdot 2072} \cdot 1,0 = 38649 \text{ р./маш.-ч.}$$

Таким образом, стоимость 1 маш.-ч до модернизации самосвала на основании формулы (4) будет

$$C_{\text{мч}} = 38649 + 2600 + 231400 + \\ + 60185 + 2900 = 335734 \text{ р./маш.-ч.}$$

Аналогично определим стоимость 1 маш.-ч самосвала с установленной на нем бортовой системой диагностирования (в этом случае амортизационные отчисления на 1 маш.-ч рабочего времени будут составлять 41354 р./маш.-ч):

$$C_{\text{мч}} = 41354 + 2600 + 220381 + \\ + 48536 + 2900 = 315771 \text{ р./маш.-ч.}$$

Снижение стоимости топливно-смазочных материалов ( $C_{\text{тсм}} = 220381$  р./маш.-ч) обусловлено снижением путевого расхода топлива на 5 % [2].

Снижение стоимости затрат на техническое обслуживание и ремонты ( $C_{\text{тор}} = 48536$  р./маш.-ч) связано с оперативным и эффективным определением технического состояния ГМП и машины

в целом, а также с увеличением длительности межремонтного периода на 25 % по данным [6].

Увеличение технической и, соответственно, эксплуатационной производительности усовершенствованного самосвала связано с увеличением средней скорости движения самосвала на 7 % и увеличением числа ездов (циклов) за один день ( $n_e = 21$ ) [6].

Увеличение (прирост) прибыли от модернизации самосвала (оснащен бортовой диагностической системой ГМП), %, определяется по формуле

$$\Delta\Pi = \frac{\Pi_2 - \Pi_1}{\Pi_1} \cdot 100. \quad (10)$$

Результаты расчета сведены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты расчета экономического эффекта в виде прироста прибыли от эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ, оснащенных бортовой системой диагностирования ГМП

Показатель	Обозначение показателя	Единица измерения	Численное значение показателя	
			до модернизации машины	после модернизации
Техническая производительность	$\Pi_T$	т/ч	1045	1097
Эксплуатационная производительность	$\Pi_3$	т/ч	762,9	800,8
Стоимость 1 маш.-ч	$C_{\text{мч}}$	р./ч	335734	312678
Приведенные затраты	$C_e^{\text{пр}}$	р./т	616,1	552,1
Количество рабочих дней за рассматриваемый период	$D_p$		259	268
Количество рабочего времени за рассматриваемый период	$T_ч$	ч	2072	2144
Прибыль от использования одного карьерного самосвала	$\Pi$	млн р.	7562,19	8227,44
Увеличение (прирост) прибыли от модернизации одного самосвала бортовой диагностической системой ГМП	$\Delta\Pi = \frac{\Pi_2 - \Pi_1}{\Pi_1} \cdot 100$	%	–	8,8

### Выводы

Повышение эффективности и рентабельности эксплуатации машин транспортной и строительно-дорожной отрасли, оснащенных ГМП, а также их безот-

казная работа обеспечивается путем комплексной диагностики их технического состояния на основе использования бортовых автоматических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максименко, А. Н.** Определение целесообразности использования строительного-дорожного машин и оценка эффективности их эксплуатации / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Механизация строительства. – 2009. – № 3. – С. 14–20.
2. 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.
3. **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.
4. **Рынкевич, С. А.** Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с. : ил.
5. **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.
6. **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.
7. **Максименко, А. Н.** Оценка эффективности использования гидрофицированных машин на всех этапах их эксплуатации / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова // Механизация строительства. – 2010. – № 10. – С. 17–19.

LIST OF LITERATURE

1. **Maksimenko, A. N.** Determination of the expediency of road-building machines usage and assessment of their operation efficiency / A. N. Maksimenko, D. Y. Makatsariya, V. V. Kutuzov // Mechanization of construction industry. – 2009. – № 3. – P. 14–20.
2. Diagnosis of hydromechanical transmissions of mobile machinery / N. N. Gorbatenko [etc.] ; ed. by DSc, Prof. V. P. Tarasik. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2010. – 511 p. : il.
3. **Tarasik, V. P.** Technologies of artificial intellect in diagnosing vehicles / V. P. Tarasik, S. A. Rynkevich. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2007. – 280 p. : il.
4. **Rynkevich, S. A.** New technologies and problems of science in transportation / S. A. Rynkevich. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2009. – 337 p. : il.
5. **Tarasik, V. P.** Method of operative diagnostics of vehicle hydromechanical transmission in the mode of gnostic running / V. P. Tarasik, S. A. Rynkevich // Herald of Belarus.-Rus. Un-ty. – 2011. – № 2 (31). – P. 104–112.
6. **Rynkevich, S. A.** Regularities of dynamic adjustment of hydromechanical transmission of off-highway dump trucks in creating the on-board diagnostic system / S. A. Rynkevich // Herald of Belarus.-Rus. Un-ty. – 2011. – № 3 (32). – P. 102–112.
7. **Maksimenko, A. N.** Assessment of efficiency of using hydroficated machines at all stages of their operation / A. N. Maksimenko, V. V. Kutuzov, E. V. Kutuzova // Mechanization of construction industry. – 2010. – № 10. – P. 17–19.

*Статья сдана в редакцию 4 января 2012 года*

**Сергей Анатолевич Рынкевич**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: rynkev@tut.by.

**Александр Николаевич Егоров**, генеральный конструктор ОАО БелАЗ.

**Владимир Петрович Тарасик**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.  
Тел. +375-222-25-36-45. E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Алексей Никифорович Максименко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
Тел.: +375-295-44-77-75.

**Sergey Anatolyevich Rynkevich**, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University.  
E-mail: rynkev@tut.by.

**Alexander Nikolayevich Yegorov**, Chief designer of OAO BelAZ.

**Vladimir Petrovich Tarasik**, DSc, Professor, Belarusian-Russian University. Tel. +375-222-25-36-45.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Alexei Nikiforovich Maksimenko**, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University.  
Tel. +375-295-44-77-75.