

МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА
MECHANICAL ENGINEERING AND MECHANICS

УДК 629.353
<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-185-196>

Поступила в редакцию 31.07.2019
Received 31.07.2019

**П. А. Пархомчик¹, П. А. Витязь^{2,3}, А. Н. Егоров¹, В. И. Моисеенко³, А. М. Насковец¹,
Д. И. Харитончик^{3,4}, С. А. Шишко¹**

¹ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», Жодино, Минская область,
Республика Беларусь

²Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси, Минск,
Республика Беларусь

⁴Министерство промышленности Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

**НОВАЦИИ В СОЗДАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ БЕЛАЗ**

Аннотация. Определены задачи развития ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», которые заключаются в использовании и внедрении в процессы проектирования и производства карьерной техники последних достижений в области технических наук и созданных на их основе инновационных технологий; освоении новой конкурентоспособной продукции и перспективных рынков сбыта, диверсификации экспорта. Совместно с научными организациями выполнены исследования, которые позволили разработать новые и усовершенствовать существующие методические подходы к решению актуальных задач по всем проблемным направлениям создания современных карьерных самосвалов особо и сверх особо большой грузоподъемности. ОАО «БЕЛАЗ» является единственным производителем и поставщиком самосвалов грузоподъемностью 450–500 т. В результате исследований по созданию таких машин впервые рекомендована модель короткобазового маневренного самосвала с жесткой рамой специальной конструкции, снижающей центр тяжести и погрузочную высоту карьерного самосвала, исполненного по схеме 4×4 (два ведущих моста) с двойной ошиновкой осей и применением существующих шин с максимальной грузоподъемностью 104 т. Предложенные и всесторонне опробованные новые компоновочные решения дают основание считать, что при освоении производства шин грузоподъемностью более 110 т реальностью является разработка самосвалов грузоподъемностью до 600 т. Также создано новое поколение самосвалов с гидромеханическими трансмиссиями, ведутся работы по созданию роботизированных комплексов для горнодобывающей промышленности. Особое внимание уделяется компьютеризации, цифровизации и экологичности карьерной техники, обеспечению надежности техники путем создания и применения новых конструкционных материалов и технологий для крупногабаритных деталей и систем.

Ключевые слова: машиностроение, карьерный самосвал, тенденции развития, карьер, грузоподъемность, несущие конструкции, зубчатые колеса, конструкционная сталь

Для цитирования: Новации в создании и обеспечении конкурентоспособности карьерной техники БЕЛАЗ / П. А. Пархомчик [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2020. – Т. 65, №2. – С. 185–196. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-185-196>

**Pyotr A. Parkhomchik¹, Pyotr A. Vityaz^{2,3}, Alexander N. Egorov¹, Vladimir I. Moiseenko³, Alexander M. Naskovets¹,
Dmitry I. Haritonchik^{3,4}, Sergey A. Shishko¹**

¹OJSC “BELAZ” – Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING”, Zhodino, Minsk region, Republic of Belarus

²Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

³Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

⁴Ministry of Industry the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

NOVATIONS IN CREATION AND ENSURING THE COMPETITIVENESS OF BELAZ QUARRY MACHINERY

Abstract. The development tasks of OJSC “BELAZ” – Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING”, are defined, which consist in using and introducing the latest achievements in the field of technical sciences and innovative technologies created on their basis into the design and production processes of mining equipment; development of new competitive products

and promising sales markets, diversification of exports. Together with scientific organizations, studies have been carried out that have allowed us to develop new and improve existing methodological approaches to solving urgent problems in all problematic areas of creating modern mining dump trucks especially and in excess of extra heavy lifting capacity. OJSC “BELAZ” is the only manufacturer and supplier of dump trucks with a carrying capacity of 450–500 tons. As a result of research on the creation of such machines, the model of a short-base maneuverable dump truck with a rigid frame of a special design was first recommended, which reduces the center of gravity and loading height of a mining dump truck, designed according to the 4×4 scheme (two drive axles) with double axle busbar and the use of existing tires with a maximum carrying capacity of 104 tons. The proposed and comprehensively tested new layout solutions give reason to believe that the development of dump trucks with a carrying capacity of up to 600 tons is a reality when mastering the production of tires with a carrying capacity of more than 110 tons. A new generation of dump trucks with hydromechanical transmissions is designed; work is underway to create robotic complexes for the mining industry. Particular attention is paid to computerization, digitalization and environmental friendliness of mining equipment, ensuring the reliability of technology by creating and applying new structural materials and technologies for large parts and systems.

Keywords: engineering, mining dump truck, development trends, quarry, carrying capacity, load-bearing structures, gears, structural steel

For citation: Parkhomchik P. A., Vityaz P. A., Egorov A. N., Moiseenko V. I., Naskovets A. M., Haritonchik D. I., Shishko S. A. Novations in creation and ensuring the competitiveness of BELAZ quarry machinery. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2020, vol. 65, no. 2, pp. 185–196 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-185-196>

Введение. В современном мире разработка минеральных сырьевых ресурсов является одним из важнейших направлений, обеспечивающих прогресс ряда базовых отраслей экономики, в том числе и наукоемких. Развитые страны (США, Англия, Германия, Франция, Япония), на долю которых приходится 16 % населения Земли, потребляют более половины извлекаемых полезных ископаемых [1–8]. Наиболее распространена сегодня разработка месторождений в открытых карьерах. В них извлекается более 80 % всех мировых запасов природных ископаемых. При этом в качестве основного вида транспорта в карьерах и шахтах используется автомобильный, который обеспечивает от 75 до 100 % грузовых перевозок [2, 3].

Сегодня ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» является единственным в мире предприятием, осуществляющим сборку карьерных самосвалов на двух конвейерах и постовую сборку самосвалов 90, 360 и 450 т в новом цехе производства сверхтяжелых машин (рис. 1).



Рис. 1. Линии сборки самосвалов БЕЛАЗ: *a* – сборка самосвалов грузоподъемностью 30–55 т; *b* – сборка самосвалов грузоподъемностью 130–240 т; *c, d* – сборка самосвалов грузоподъемностью 90, 360 и 450 т

Fig. 1. Assembly lines of dump trucks BELAZ: *a* – assembly of dump trucks with load capacity 30–55 t; *b* – assembly of dump trucks with load capacity 130–240 t; *c, d* – assembly of dump trucks with load capacity 90, 360 and 450 t

За 70-летнюю історыю существования предприятия его техника отгружалась в 76 стран. Ежегодно продукция завода поставляется в более чем 30 стран мира. Общий парк работающих карьерных самосвалов БЕЛАЗ грузоподъемностью 30–360 т только на предприятиях России сегодня насчитывает более 10 000 единиц.

В течение последних 10 лет приоритетными экспортными рынками для белорусского предприятия являются Россия, Украина, Казахстан, Узбекистан. Появились также и новые рынки сбыта: Азербайджан, Ангола, Венесуэла, Зимбабве, Индонезия, Марокко, Сербия, Филиппины, Бангладеш.

Несмотря на то, что в последние годы вследствие обострения конкуренции к карьерным самосвалам выдвигаются повышенные требования, по результатам 2018 и 2019 гг. БЕЛАЗ уверенно удерживает 3-е место, обеспечивая долю в объемах продаж на мировых рынках в пределах 20–25 %, что является рекордным показателем для экспортеров Беларуси [9].

Перспектива развития холдинга до 2030 г. определяется поэтапным решением следующих задач: использование и внедрение в процессы проектирования и производства карьерной техники последних достижений в области технических наук и созданных на их основе инновационных технологий; освоение новой конкурентоспособной продукции и перспективных рынков сбыта, диверсификация экспорта.

Важнейшая роль в решении указанных задач отводится Научно-техническому центру ОАО «БЕЛАЗ», который создан в структуре Управления главного конструктора и осуществляет свою деятельность в тесном сотрудничестве с научно-техническим центром двойного подчинения НАН Беларуси – ОАО «БЕЛАЗ», организованным в 2007 г. Среди научных учреждений НАН Беларуси, сотрудничающих с холдингом, следует отметить деятельность Объединенного института машиностроения (ОИМ), Института порошковой металлургии имени академика О. В. Романа (ИПИМ), Физико-технического института. В инновационной деятельности предприятия активно участвуют учебные заведения Беларуси и ученые России.

Сегодня при создании и совершенствовании карьерной техники в Беларуси широко используются высокопроизводительные компьютеры с набором современных проектно-конструкторских и расчетных программ. Они позволяют осуществлять компоновочный и прочностной анализ будущей машины, ее систем, узлов и отдельных элементов. В комплексе с собственными отлаженными методиками расчета и конструирования сформированы возможности уже с первых опытных образцов создавать работоспособную и высокоэффективную технику. Кроме того, прежде чем отправиться к заказчику, новая техника проходит установленный цикл испытаний на стендах экспериментального цеха и трассах заводского испытательного полигона [10].

Созданные научно-технические структуры и активное взаимодействие специалистов завода и представителей науки позволили реализовать наукоемкую систему оптимизации конструкций самосвалов и внедрить передовые технологии создания конкурентоспособной продукции путем не только привлечения последних достижений фундаментальной науки, но и подготовки кадров высшей квалификации из числа непосредственно занятых в создании современной техники работников предприятия – носителей «знаний технологий».

Параметрический ряд и типаж карьерных самосвалов. Успех на современных рынках горнотранспортной техники определяется техническим уровнем (прежде всего грузоподъемностью и производительностью), степенью готовности (надежностью) парка машин, а также расходами на их обслуживание (особенно на шины и топливо). При этом заполнение рынка востребованными моделями самосвалов с обязательным исполнением фактора «цена–качество» остается доминирующим направлением.

Современные карьеры отличаются значительной глубиной по причине снижения объема вскрышных работ. Фактическая глубина карьеров достигла 500–600 м, но уже в наши дни функционирует карьер глубиной 1000 м [5]. При этом уклоны дорог увеличиваются от нормативных значений порой в 1,5–2 раза, а ширина проезжей части и радиусы поворотов дорог практически остаются неизменными. Все это накладывает особые требования как к общей компоновке самосвалов в части их безопасности и скорости движения, так и к обеспечению надежности деталей и узлов силовой передачи в условиях длительного воздействия повышенных нагрузок. Особую актуальность решение этих задач приобретает для самосвалов особо большой грузоподъемности до 400–500 т.

Сформированная на предприятии инженерная и научная база позволяет управлять конкурентоспособностью продукции на всех этапах ее создания: от научного формирования параметрического ряда современных карьерных самосвалов и их типажа [11] до оценки перспектив реализации на рынке новых моделей карьерных самосвалов. Современный ряд выпускаемой холдингом (вместе с филиалами) техники насчитывает более 20 моделей карьерной и специализированной техники, конкурентных на всех рынках.

За последние годы предприятие, опираясь на собственные инновационные разработки и сотрудничество с рядом научных организаций, создало и поставило на производство целый ряд образцов новой конкурентоспособной карьерной техники: как самосвалов с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) грузоподъемностью от 90 т и самого большого в мире карьерного самосвала грузоподъемностью 450 т, так и карьерных самосвалов грузоподъемностью 55, 90 и 135 т (опытный образец) с полностью новыми гидромеханическими трансмиссиями (ГМТ) собственной разработки, состоящими из автоматических планетарных коробок передач (ПКП) и ведущих мостов повышенной надежности и ресурса (рис. 2).



Рис. 2. Карьерные самосвалы БЕЛАЗ-75710 грузоподъемностью 450 т (а) и БЕЛАЗ-7555Н грузоподъемностью 55 т (б)
 Fig. 2. Mining trucks BELAZ-75710 with load capacity 450 t (a), and BELAZ-7555H with load capacity 55 t (b)

Особые перспективы продаж существуют для самосвалов грузоподъемностью 450–500 т, единственным производителем и поставщиком которых является ОАО «БЕЛАЗ». Создание такой машины потребовало создания новых специальных знаний и конструкторских решений как в области общей компоновки самосвала и обеспечения ресурса крупногабаритных деталей, так и в части обеспечения его маневренности, продольной и поперечной устойчивости из-за резкого увеличения центра тяжести машин такого типа, так как другие габаритные размеры (длина, ширина) нового карьерного самосвала сопоставимы с габаритными размерами машин класса грузоподъемности 320–360 т.

На рынке самосвалов грузоподъемностью 90–150 т (на примерах эксплуатации в ряде карьеров Российской Федерации) отмечается конкуренция за счет использования в их конструкциях ГМТ. Самосвалы с ГМТ по-прежнему создают конкуренцию машинам с ЭМТ при одинаковых характеристиках двигателей и удельной металлоемкости. Кроме того, стоимость самосвала с ГМТ (особенно с трансмиссией собственного изготовления) может быть ниже, чем самосвала с ЭМТ. Успешное создание самосвалов нового для холдинга типа (в первую очередь агрегатов их ГМТ) потребовало специальных знаний при конструировании агрегатов и разработки технологий их получения. В решении этих задач значительный вклад внесен учеными Беларуси.

Новации и основы создания карьерных самосвалов особо большой и сверх особо большой грузоподъемности. Выполненные совместно с научными организациями исследования позволили разработать новые и усовершенствовать существующие методические подходы к решению актуальных задач по всем проблемным направлениям создания современных карьерных самосвалов особо и сверх особо большой грузоподъемности. Эти работы направлены прежде

всего на рациональный выбор удельной мощности двигательной установки, конструктивное исполнение силовой передачи, обеспечение минимального расхода топлива, эффективных систем тормозов, рулевого управления и подвески, гарантированной поперечной устойчивости самосвала в глубоких карьерах, оптимальной нагруженности шин (с целью достижения необходимого ресурса и исключения интенсивного их износа в условиях буксования и заноса), обеспечение прочности деталей трансмиссии и несущих систем.

В результате исследований по созданию уникальной техники (самосвалов грузоподъемностью 450–500 т) впервые рекомендована модель короткобазового маневренного самосвала с жесткой рамой специальной конструкции, снижающей центр тяжести и погрузочную высоту карьерного самосвала, исполненного по схеме 4×4 (два ведущих моста) с двойной ошиновкой осей и применением существующих шин с максимальной грузоподъемностью 104 т. Предложенные и всесторонне опробованные новые компоновочные решения дают основание считать, что при освоении производства шин грузоподъемностью более 110 т реальностью является создание самосвалов грузоподъемностью до 600 т [10].

Установка сдвоенных шин на передней оси значительно улучшает технико-эксплуатационные показатели нового автомобиля. Так, удельная грузоподъемность двухосного самосвала увеличивается в 1,4–1,5 раза в сравнении с традиционной компоновочной схемой 4×2 . Два ведущих моста со специально созданной ЭМТ для самосвала грузоподъемностью свыше 450 т позволяют увеличить тягу на колесах, а также преодолевать повышенные уклоны на внутрикарьерных дорогах. Маневренность самосвала при электрогидравлической схеме рулевого управления и двух поворотных мостах сопоставима с «классическими» карьерными самосвалами грузоподъемностью 360 т, что позволяет беспрепятственно эксплуатировать самосвал на «узких» дорогах глубоких карьеров.

Впервые наряду с выработанными решениями по оптимизации параметров маневренности карьерных самосвалов разработаны, реализованы и всесторонне проверены в стендовых и эксплуатационных условиях принципиально новые для карьерной техники расчетные и конструкционные решения по проблеме обеспечения поперечной устойчивости короткобазового карьерного самосвала особо большой грузоподъемности [11, 12].

Расчеты оптимизации поперечной устойчивости выполнены специалистами завода методом динамического моделирования условий движения. При этом использована уникальная расчетная многомассовая модель самосвала, состоящая из 25 абсолютно жестких тел, связанных между собой шарнирами в соответствии с кинематикой подвески и рулевого управления и силовыми элементами с учетом упругих характеристик шин, цилиндров подвески и контактного взаимодействия рамы с платформой. Модель является полностью параметрической и позволяет проводить анализ с учетом чувствительности модели к изменению параметров.

Принцип работы стабилизаторов поперечной устойчивости основан на гашении энергии бокового крена специальными упругими элементами при их деформации. Принципиально важными результатами являются и конструкционные решения по упругим элементам, обеспечивающим их ресурс, равный жизненному циклу самосвала.

Двойная ошиновка обеих осей не только повышает грузоподъемность, но и изменяет развеску по осям в соотношении 50 % на 50 %, что позволяет увеличить ходимость шин за счет более оптимального перераспределения общей массы самосвала при работе на повышенных уклонах.

Новые принципы создания самосвалов повышенной грузоподъемности (450–500 т) подтверждены стендовыми и полигонными испытаниями, а также результатами эксплуатации в карьерах Кузбасса. Как и предусматривалось проектным расчетом, реальная производительность нового самосвала в 2–2,5 раза превышает производительность любого из самосвалов существующего парка, что открывает перспективы нового изделия на мировом рынке карьерной техники.

Новое поколение самосвалов с гидромеханическими трансмиссиями. Разработаны и освоены в производстве карьерные самосвалы грузоподъемностью 55, 90 и 135 т (опытный образец), снабженные новыми ГМТ собственной разработки и предназначенные для работы в глубоких карьерах. В состав ГМТ входят автоматические ПКП, позволяющие переключать передачи под нагрузкой, и новые ведущие мосты повышенного ресурса. Созданная на заводе с использованием научных разработок новая методология выбора и оптимизации кинематических

параметров трансмиссии позволила начать собственное производство конкурентоспособных по тягово-динамическому и ценовому факторам самосвалов с ГМТ грузоподъемностью свыше 90 т. Мехатронная система управления автоматической КПП разработана совместными усилиями холдинга и Российско-Белорусского университета. Характеристики самосвала 90 т, укомплектованного агрегатами производства БЕЛАЗ, выгодно отличаются от прототипа, снабженного ПКП известного зарубежного производителя. Испытаниями на заводском полигоне установлено, что при преодолении подъема с уклоном 8 % без предварительного разгона средняя скорость самосвала с ГМТ производства БЕЛАЗ выше на 2,4 км/ч (на 28,6 %), а время преодоления подъема меньше на 30,1 % (рис. 3) [13].

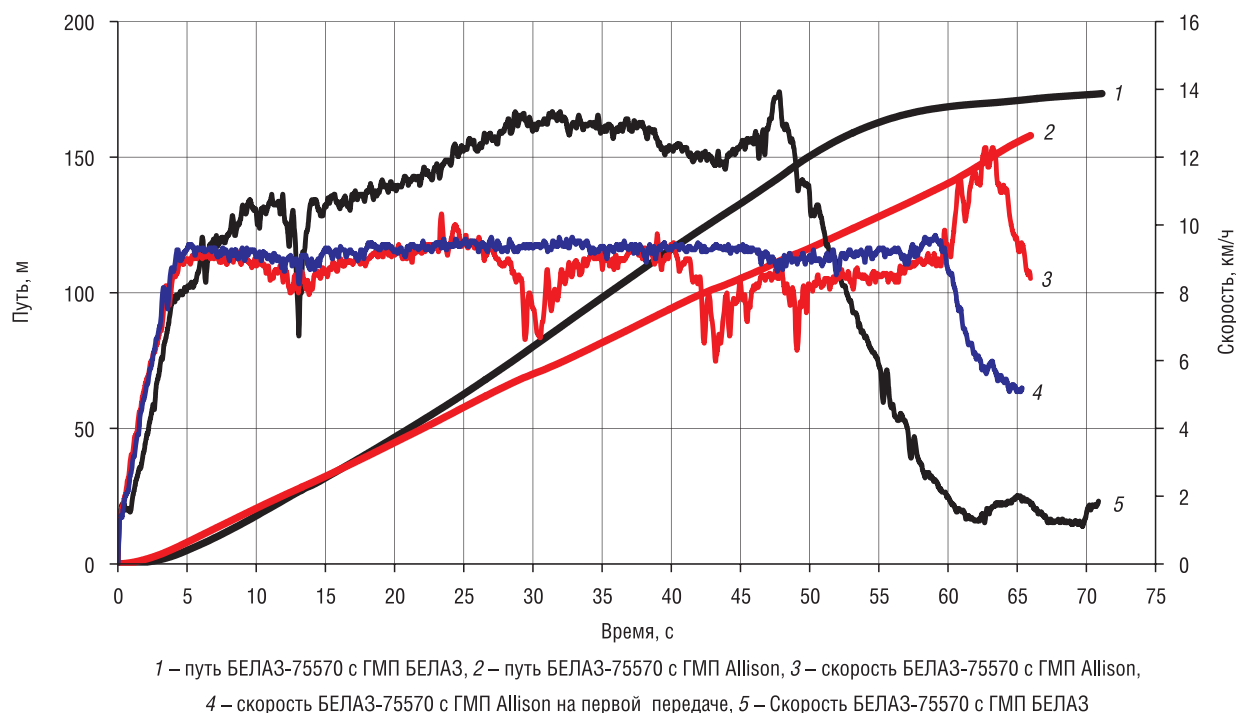


Рис. 3. Сравнительная диаграмма движения БЕЛАЗ-75570 с ГМП производства БЕЛАЗ и ГМП производства Allison на подъем 8 % без предварительного разгона

Fig. 3. Comparative chart of the movement of the BELAZ-75570 with the GMP "BELAZ" and the GMP "Allison" to a rise of 8 % without prior acceleration

Роботизация, экологичность и электронизация карьерных самосвалов. При активном участии российских и белорусских специалистов в холдинге активно ведутся работы по созданию роботизированных комплексов для горнодобывающей промышленности (например, беспилотный самосвал в комплекте с погрузчиком). В настоящее время создается участок интеллектуального карьера на одном из горнодобывающих предприятий на территории Российской Федерации.

Сегодня во многих странах мира ужесточаются экологические стандарты по выбросам отработавших газов. Для обеспечения новых требований на ОАО «БЕЛАЗ» ведутся работы по внедрению в карьерную технику двигателей с нормами ЕРА Tier 4F. Такие модели карьерных самосвалов, как БЕЛАЗ-7555F грузоподъемностью 55 т, БЕЛАЗ-75581 грузоподъемностью 90 т, БЕЛАЗ-75135 грузоподъемностью 110 т, БЕЛАЗ-75310 грузоподъемностью 240 т, БЕЛАЗ-75320 грузоподъемностью 290 т, соответствуют нормам ЕРА Tier 2, а карьерные самосвалы БЕЛАЗ-75454 и БЕЛАЗ-75321 – ЕРА Tier 4F. В ближайшее время в линейке выпуска карьерных самосвалов появятся карьерные самосвалы с дизельными двигателями, соответствующими стандарту ЕРА Tier 4F в классе грузоподъемности 55, 90, 130, 180, 240 т. В рамках развития названных направлений холдинг на данный момент предлагает горной промышленности карьерные самосвалы, использующие в качестве топлива природный газ.

Еще одним направлением по сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу и повышению экономичности является создание карьерного транспорта в дизель-троллейвозном,

троллейвозном и электровозном исполнении (на базе карьерных самосвалов с электромеханической трансмиссией). Сдерживающими массовое производство данного типа транспорта факторами являются дороговизна и малый срок службы накопителей энергии, однако это временно, так как данные аспекты связаны напрямую с потребностью, то есть отсутствием серийного выпуска аккумуляторов необходимой мощности.

Бурное развитие электроники нашло отражение и в создании самосвалов с маркой «БЕЛАЗ». В их констукциях успешно используются современные электронные системы для реализации различного функционала. Сегодня на карьерных самосвалах «БЕЛАЗ» внедрены следующие системы: сигнализации приближения к высоковольтной линии, контроля загрузки и топлива, контроля телеметрическая для измерения давления в шинах, видеообзора, быстрой заправки топливом, многофункциональной диагностики, предупреждения столкновений и контроля слепых зон, удаленного мониторинга карьерного самосвала, обеспечивается интеграция систем самосвала с системами диспетчеризации карьеров [10].

Обеспечение надежности и долговечности несущих систем, крупногабаритных агрегатов и деталей. Для всех моделей самосвалов постоянным остается требование обеспечения надежности и повышения ресурса систем, их агрегатов и деталей. Это касается прежде всего крупногабаритных дорогостоящих деталей из-за больших затрат при их замене, особенно в условиях отдаленной эксплуатации и экстремальных климатических температур. Работоспособность базовых комплектующих, таких как двигатели, шины, генераторы и электродвигатели, достигается кооперацией и поставками от известных производителей. Собственное производство базовых несущих и силовых агрегатов активно использует инновационные материалы и технологии, созданные на основе разработок ведущих научных организаций Национальной академии наук Беларуси и белорусских вузов.

Например, фрикционные диски гидромеханических передач самосвалов «БЕЛАЗ» воспринимают значительные статические и динамические нагрузки, подвергаются воздействию повышенной тепловой нагрузки и интенсивному изнашиванию. Важной задачей при повышении ресурса фрикционов и надежности ГМП является снижение динамической и тепловой нагруженности, возникающих при переключении ступеней. Особые требования к фрикционным дискам предъявляются в ГМП с автоматическим переключением передач без разрыва потока мощности. Для решения указанной задачи совместно с ИПМ ведутся работы по созданию фрикционных материалов с улучшенными триботехническими характеристиками.

Особо следует отметить используемые на предприятии совместные с ОИМ НАН Беларуси решения, направленные на обеспечение заданного ресурса несущих систем карьерного самосвала – рамы и балок передних осей, а также крупногабаритных зубчатых колес редукторов трансмиссий.

Базовым фактором в решении указанных проблем явилась созданная в ОИМ НАН Беларуси и реализованная в производстве методология повышения служебных свойств стали, которая основана на управлении химической, структурной и прочностной однородностью приграничных объемов ее зерен [14]. В результате совместных исследований создан ряд новых конструкционных сталей и технологий получения деталей из них. В производстве карьерных самосвалов БЕЛАЗ особо эффективными являются: сталь 15НМФЛ – для высоконагруженных отливок, сталь 20ХНЗМА – для цементированных крупногабаритных зубчатых колес, сталь 40ХМФА – для азотированных зубчатых колес большого диаметра. Указанные стали и технологии запатентованы (патент 13 742 Респ. Беларусь, МПК С 22С 38/44 «Литейная сталь», авторы – В. И. Моисеенко, П. Л. Мариев, П. И. Папковский, Н. Д. Шкатуло, В. М. Гацуро, В. С. Кураш; патент 16 513 Респ. Беларусь, МПК С 22С 38/46 «Конструкционная легированная сталь», авторы – В. И. Моисеенко, Н. Д. Шкатуло; патент 2 553 764 Российской Федерации: МПК С 22С 38/24 «Азотируемая сталь для зубчатых колес», авторы – В. И. Моисеенко, А. Л. Сапунов, Н. Д. Шкатуло). Производство этих материалов, заготовок и деталей из них для машиностроения освоено в промышленных масштабах на предприятиях Беларуси, России, Украины и Евросоюза.

Использование стали 15НМФЛ по скорректированным (с применением компьютерных программ) технологиям литья позволило получать крупногабаритные стальные отливки массой до 3–4 т, обладающие высоким сопротивлением усталостному и хрупкому разрушениям. Это создало новые возможности в изготовлении и применении литосварных несущих (вместо цельносвар-

ных из листовой стали) конструкций самосвалов и тем самым резко сократить использование сварных соединений, практически всегда инициирующих разрушение [14]. Применение новой стали в конструкциях рам самосвалов БЕЛАЗ увеличило безремонтный пробег машин более чем в 10 раз, что решило проблему обеспечения надежности рам карьерных самосвалов в жизненном цикле машин (до 1–2 млн км пробега) и устранило тем самым значительные трудности ремонта при использовании самосвалов (особенно, в зоне экстремальных климатических температур), резко увеличив их конкурентоспособность.

Создание крупногабаритных цементированных зубчатых колес для карьерной техники требует применения сложнелегированных сталей для обеспечения повышенной твердости упрочненного слоя и сердцевины деталей. Однако высокое легирование часто приводит к заметному изменению формы и размеров деталей (короблению) как при их изготовлении, так и при работе редуктора, что снижает срок службы шестерен. Коробление после химико-термической обработки (ХТО) обычно устраняется шлифованием, что не только приводит к снижению прочности поверхностного слоя, но и требует специального оборудования и заметного увеличения затрат для производства деталей больших размеров. Для зубчатых колес со сложным профилем зубьев шлифование не всегда осуществимо, что становится труднопреодолимой проблемой в создании крупных цементированных конических шестерен с круговыми зубьями. Созданная и освоенная в металлургии и машиностроении конструкционная сталь 20ХНЗМА не только менее подвержена короблению при ХТО, но и выгодно отличается от известных материалов в части малоизученного фактора – сохранения формы и размеров деталей в процессе их эксплуатации [15]. Специальные исследования показали, что погрешности изменения направления зубьев при сравнительных стендовых (по замкнутому контуру) испытаниях у шестерен из стали 20ХНЗМА почти на порядок ниже, чем у аналогичных деталей из стали 20Х2Н4А (рис. 4). Прочностные характеристики упрочненного цементацией поверхностного слоя зубьев более высокие, чем у таких же деталей из применявшихся ранее материалов: стали 20ХНЗА или стали 20Х2Н4А (патент 16513 Респ. Беларусь, МПК С 22С 38/46 «Конструкционная легированная сталь», авторы – В. И. Моисеенко, Н. Д. Шкатуло). Указанные конструкционные и технологические свойства стали 20ХНЗМА открыли не только новые возможности в снижении затрат на шлифование всех крупномодульных зубчатых колес, но и в создании шестерен главных передач ведущих мостов самосвалов новой серии грузоподъемностью свыше 90 т, снабженных ГМТ [10].

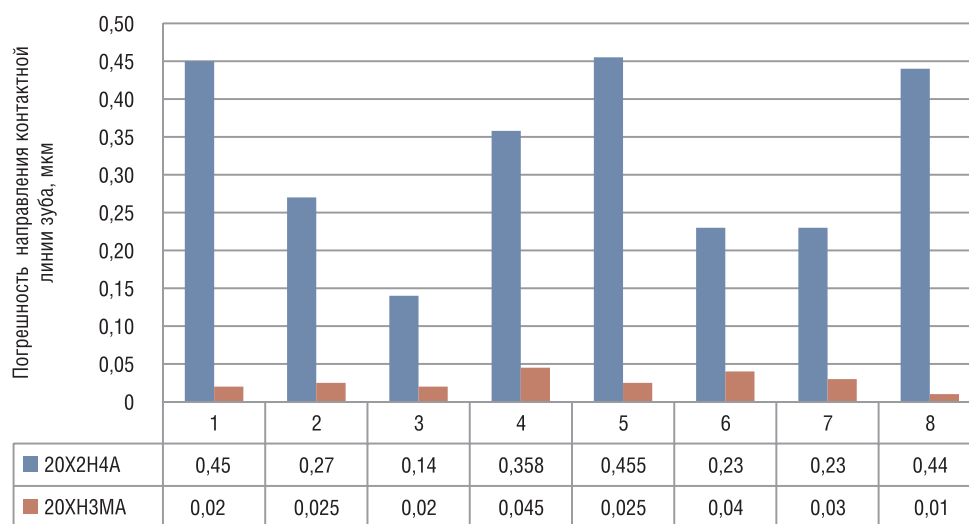


Рис. 4. Значение погрешности направления зуба у шестерен из сталей 20Х2Н4А и 20ХНЗМА после испытаний (200 ч)

Fig. 4. Error value direction of the gears of steel 20X2H4A and 20XH3MA after testing (200 hours)

Дополнительным и существенным фактором повышения несущей способности цементированных крупногабаритных зубчатых колес является созданный на основе фундаментальных исследований, выполненных в ОИМ НАН Беларуси совместно с Институтом электросварки имени Е. О. Патона (Украина) и Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова

(Россия), полный цикл уникального производства высоконадежных крупногабаритных зубчатых колес с использованием литой (недеформированной) заготовки, получаемой центробежным электрошлаковым литьем [14].

Высокая эффективность использования литых электрошлаковых заготовок подтверждена и распространена в последующих работах в смежных отраслях машиностроения [18]. Приведенные инновации позволили довести ресурс и надежность цементированных шестерен трансмиссий самосвалов марки «БЕЛАЗ» до уровня работоспособности техники ведущих производителей и снизить потребность в запчастях и объемах ремонтных работ при эксплуатации техники.

Азотированные зубчатые колеса, традиционно изготавливаемые из широко известных марок сталей (38Х2МЮА, 38ХМ, 40Х, 40ХН), обычно имеют невысокую твердость сердцевины (не более 240 НВ) как по причине низкой обрабатываемости материала, так и вследствие снижения твердости сердцевины деталей на стадии азотирования. При указанной твердости в деталях при эксплуатации развивается неравномерная циклическая макротекучесть материала, что дополнительно инициирует хрупкое разрушение азотированного слоя, его «шелушение», и является основной причиной выхода зубчатых колес (особенно крупногабаритных) из строя. При большом числе нарезаемых зубьев и высокой твердости заготовок крупномодульных зубчатых колес большого диаметра режущий инструмент, который невозможно заменить в процессе изготовления детали, теряет свои эксплуатационные характеристики, и необходимая точность деталей не обеспечивается. Впервые повышение твердости сердцевины деталей (до 280–300 НВ) из стали 38Х2МЮА без снижения их обрабатываемости достигнуто применением специальной запатентованной термообработки заготовок – «неполной закалки» [16]. При этом заметно повышается надежность и ресурс шестерен при толщине азотированного слоя 0,3–0,4 мм и его поверхностной твердости на уровне 900–1000 НВ, что крайне востребовано для деталей с повышенными требованиями по износостойкости.

Высокая эффективность отмечена и при использовании стали 40ХМФА. Ее применение для изготовления крупногабаритных (диаметром до 1200 мм и модулем зуба более 7 мм) азотированных зубчатых колес с внутренним зацеплением повысило надежность и ресурс деталей в гарантийный период эксплуатации и в жизненном цикле самосвалов при росте их грузоподъемности и увеличении уклонов карьерных дорог [17].

Положительный эффект применения стали 40ХМФА – также следствие использования указанной методологии целенаправленного формирования химического и структурного строения приграничных объемов зерен материала [14]. Регламентированное содержание в стали молибдена и ванадия повышает прокаливаемость и жаростойкость материала, а также толщину азотированного слоя и его характеристики, не снижая обрабатываемости зубчатых колес.

При использовании стали 40ХМФА и технологии ионно-плазменного азотирования, разработанного ФТИ НАН Беларуси, обеспечиваются необходимые для повышения прочности азотированных колес параметры: твердость сердцевины зубьев до 320 НВ, хорошая обрабатываемость и, как следствие, степень точности не ниже 7-й по ГОСТ 1643-81, глубина азотированного слоя – не менее 0,5–0,7 мм, при отсутствии хрупких фаз в нем, γ' -фаза не образует замкнутой сетки. Твердость поверхности – 650–750 НВ, что соизмеримо с твердостью поверхности цементированных зубчатых колес [17]. Процесс азотирования может осуществляться при повышенных температурах без снижения твердости, сформированной в заготовках до азотирования. В итоге это приводит к увеличению сопротивления изгибной и контактной усталости азотированного слоя и всей детали, в том числе и путем торможения при циклической нагрузке процесса локализации пластической деформации, инициирующей «шелушение» азотированного слоя деталей и ускоряющей их разрушение. Достигнутый уровень прочности азотированного слоя при использовании стали 40ХМФА позволяет в ряде конструкций применять азотированные зубчатые колеса (модуль менее 5 мм) вместо цементированных, что резко сокращает энергозатраты производства и повышает точность деталей, устраняя необходимость их шлифования.

Особо высокой несущей способностью и точностью обладают зубчатые колеса из новой запатентованной марки стали 20ХН4МФА. Твердость поверхностного слоя (до 900–950 НВ) и сердцевины деталей (до 40 HRC) из нового материала дополнительно повышаются при температурах азотирования [16].

Новые материалы и технологии, разработанные для изготовления зубчатых колес, позволили снизить аварийные отказы деталей в 5–6 раз в гарантийный период эксплуатации, а потребность в запчастях – в 5–10 раз.

Экономическая эффективность применения сталей 15НМФА, 20ХНЗМА и 40ХМФА оценивается в холдинге на уровне 1 млн долл. США по каждому из материалов. Стали марок 20ХНЗМА 40ХМФА вошли в перечень практически значимых разработок НАН Беларуси (Каталог практически значимых разработок НАН Беларуси в интересах экономики и социальной сферы Республики Беларусь. Минск: Беларус. навука, 2017. С. 37–38).

Заключение. Новая методология включает в себя научно обоснованные методы построения и реализации параметрического ряда и типажа карьерных самосвалов и позволяет своевременно прогнозировать и реагировать на перспективные запросы рынка с учетом происходящего углубления карьеров, увеличения грузоподъемности машин и их производительности, ужесточения экологических требований и наступающей эры цифровизации технологий горных работ. Составной частью указанной методологии являются и новые научно обоснованные подходы по обеспечению, повышению ресурса и технологичности (при проектировании и в производстве) крупногабаритных базовых систем, их агрегатов и деталей, исключая (или резко сокращающих) объемы ремонтных работ в жизненном цикле самосвалов.

Созданная и реализуемая в последние годы современная методология проектирования и производства карьерных самосвалов, основанная на научных новациях, позволила вывести Белорусский автомобильный завод в лидеры продаж указанной техники в мире (до 25–30 % рынка) на общую сумму 1 млрд долл. США при 12 тыс. занятых в производстве, что по удельному показателю является одним из рекордных достижений экспортеров Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы в карьерах с повышенными уклонами выработок / П. И. Тарасов [и др.] // Гор. пром-сть. – 2008. – № 2. – С. 26.
2. Яковлев, В. Л. Проблемы, состояние и перспективы открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Проблемы карьерного транспорта: материалы X междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 14–16 окт. 2009 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. – С. 44.
3. Бахтурин, Ю. А. Обоснование прогноза формирования транспортных систем карьеров / Ю. А. Бахтурин // Проблемы карьерного транспорта: материалы X междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 14–16 окт. 2009 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. – С. 55–62.
4. Анистратов, К. Ю. Исследование показателей работы карьерных самосвалов для обоснования структуры парка и норм выработки автотранспорта / К. Ю. Анистратов, Л. В. Борщ-Компоницец // Гор. пром-сть. – 2011. – № 4. – С. 38–45.
5. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками / А. С. Чаадаев [и др.] // Гор. пром-сть. – 2008. – № 2. – С. 75.
6. Смирнов, В. П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В. П. Смирнов, Ю. И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.
7. Специализированные виды автотранспорта для горнодобывающих предприятий / В. П. Яковлев [и др.] // Гор. пром-сть. – 2007. – № 6. – С. 44–52.
8. Анистратов, К. Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники / К. Ю. Анистратов // Гор. пром-сть. – 2011. – № 6. – С. 22–26.
9. Новое в классификации современных карьерных самосвалов / П. А. Пархомчик [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2017. – Т. 6. – С. 81–85.
10. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» / С. А. Шишко [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2018. – Вып. 7. – С. 8–11.
11. Обеспечение поперечной устойчивости карьерных самосвалов сверх особо большой грузоподъемности / А. Н. Егоров [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2015. – Вып. 4. – С. 77–80.
12. Насковец, А. М. Поперечная устойчивость карьерных самосвалов для глубоких карьеров / А. М. Насковец, А. Н. Костюкович, В. И. Моисеенко // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2012. – Вып. 1. – С. 186–190.
13. Шишко, С. А. Обоснование выбора передаточных отношений ГМТ карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности / С. А. Шишко, В. И. Моисеенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 4. – С. 52–59.
14. Моисеенко, В. И. Основы структурной равнопрочности стали и элементов крупногабаритных деталей машин / В. И. Моисеенко, П. Л. Мариев. – Минск: Ин-т кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 200 с.

15. Особенности применения конструкционной стали 20ХНЗМА для крупногабаритных цементируемых зубчатых колес / П. А. Витязь [и др.] // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2018. – №2. – С. 62–67.
16. Харитончик, Д. И. Крупногабаритные зубчатые колеса с внутренним зацеплением из алюминийсодержащих сталей / Д. И. Харитончик, В. И. Моисеенко. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 125 с.
17. Новая конструкционная сталь для азотированных деталей / М. В. Сотников [и др.] // *Сборник материалов VIII Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» / Ин-т металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН*. – М., 2006. – С. 338–340.
18. Дудецкая, Л. Р. Исследование влияния микролегирования молибденом и ниобием на прокаливаемость и механические свойства конструкционных цементируемых сталей 20ХНЗА и 20ХГНМ / Л. Р. Дудецкая, А. Н. Глушаков // *Вестн. ГГТУ им. П. А. Сухого*. – 2013. – №2. – С. 21–24.

References

1. Tarasov P. I., Glebov A. V., Furin V. O., Voroshilov A. G., Lobanov S. V., Nevolin V. M. Structural schemes of caterpillar dump trucks for work in quarries with increased slopes of mine workings. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*, 2008, no. 2, p. 26 (in Russian).
2. Yakovlev V. L. Problems, state and prospects of open cast mining. *Problemy kar'ernogo transporta: materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Ekaterinburg, 14–16 okt. 2009 g.* [Problems of career transport: Problems of open pit transport: materials of X international scientific and practical conference, Yekaterinburg, October 14–16. 2009]. Yekaterinburg, Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, 2009, pp. 44 (in Russian).
3. Bakhturin Y. A. The justification of the forecast for the formation of transport systems of quarries. *Problemy kar'ernogo transporta: materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Ekaterinburg, 14–16 okt. 2009 g.* [Problems of career transport: Problems of open pit transport: materials of X international scientific and practical conference, Yekaterinburg, October 14–16. 2009]. Yekaterinburg, Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, 2009, pp. 55–62 (in Russian).
4. Anistratov K. Y., Borshch-Komponiets L. V. Study of performance indicators of mining dump trucks for substantiating the structure of the fleet and the norms for generating vehicles. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*, 2011, no. 4 (98), pp. 38–45 (in Russian).
5. Chaadaev A. S., Akishev A. N., Bakhtin V. A., Babaskin S. L. Schemes for opening and mining deep horizons of diamond pits with steeply inclined workings. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*, 2008, no. 2 (68), pp. 75 (in Russian).
6. Smirnov V. P., Lel' Y. I. *Theory of Career Heavy Vehicles*. Yekaterinburg, Ural Branch of RAS, 2002. 355 p. (in Russian).
7. Yakovlev V. L., Tarasov P. I., Zhuravlev A. G., Furin V. O., Voroshilov A. G., Tarasov A. P., Fefelov E. V. Specialized types of vehicles for mining enterprises. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*, 2007, no. 6, pp. 44–52 (in Russian).
8. Anistratov K. Y. World trends in the development of the structure of the mining equipment fleet. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*, 2011, no. 6, pp. 22–26 (in Russian).
9. Parkhomchik P. A., Egorov A. N., Naskovets A. M., Vityaz P. A., Moiseenko V. I. New in the classification of modern mining trucks. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sbornik nauchnykh trudov* [Actual issues of engineering: a collection of scientific papers]. Minsk, Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 2017, iss. 6, pp. 81–85 (in Russian).
10. Shishko S. A., Naskovets A. M., Parkhomchik P. A., Egorov A. N., Moiseenko V. I. Modern development of open-pit mining vehicles manufactured by BELAZ OJSC *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sbornik nauchnykh trudov* [Actual issues of engineering: a collection of scientific papers]. Minsk, Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 2018, iss. 7, pp. 8–11 (in Russian).
11. Egorov A. N., Naskovets A. M., Kostyukovich A. N., Moiseenko V. I. Ensuring the lateral stability of mining dump trucks in excess of an especially large payload. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sbornik nauchnykh trudov* [Actual issues of engineering: a collection of scientific papers]. Minsk, Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 2015, iss. 4, pp. 77–80 (in Russian).
12. Naskovets A. M., Kostyukovich A. N., Moiseenko V. I. Transverse stability of mining trucks for deep pits. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sbornik nauchnykh trudov* [Actual issues of engineering: a collection of scientific papers]. Minsk, Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, 2012, iss. 1, pp. 186–190 (in Russian).
13. Shishko S. A., Moiseenko V. I. Justification of the selection of gear ratios of the umptera of dump trucks of especially heavy lifting capacity. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2016, no. 4, pp. 52–59 (in Russian).
14. Moiseenko V. I., Mariev P. L. *Fundamentals of Structural Equal Strength of Steel and Elements of Large-sized Machine Parts*. Minsk, Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Belarus, 1999. 200 p. (in Russian).
15. Vityaz P. A., Moiseenko V. I., Sidorenko A. G., Tomashevskii D. G., Shishko S. A. Features of the use of structural steel 20ХНЗМА for large cemented gears. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2018, no. 2, pp. 62–67 (in Russian).
16. Kharitonchik D. I., Moiseenko V. I. *Large-Sized Gearwheels with Internal Gearing from Aluminum-Containing Steels*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2012. 125 p. (in Russian).
17. Sotnikov M. V., Sidorenko A. G., Moiseenko V. I., Shishko S. A. New structural steel for nitrided parts. *Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi konferentsii "Deformatsiya i razrushenie materialov i nanomaterialov"* [Proceedings of the

VIII International Conference “Deformation and Fracture of Materials and Nanomaterials”. Moscow, A. A. Baykov Institute of Metallurgy and Materials Science RAS, 2006, pp. 338–340 (in Russian).

18. Dudetskaya L. R., Glushakov A. N. Investigation of the influence of microalloying with molybdenum and niobium on the penetration and mechanical properties of structural cemented steels 20XH3A and 20KHGNM. *Vestnik GGTU im. P. A. Sukhogo* [Bulletin of the Sukhoi State Technical University of Gomel], 2013, no. 2, pp. 21–24 (in Russian).

Информация об авторах

Пархомчик Петр Александрович – генеральный директор, ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (ул. 40 лет Октября, 4, 222161, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: office@belaz.minsk.by

Витязь Петр Александрович – академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, руководитель аппарата Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости 66, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vitiaz@presidium.bas-net.by

Егоров Александр Николаевич – генеральный конструктор – начальник научно-технического центра ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (ул. 40 лет Октября, 4, 222161, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: office@belaz.minsk.by

Моисеенко Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Объединенного института машиностроения Национальной академии наук Беларуси (ул. Академическая 12, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ks_oim@tut.by

Насковец Александр Михайлович – начальник бюро общей компоновки, ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (ул. 40 лет Октября, 4, 222161, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: office@belaz.minsk.by

Харитончик Дмитрий Иванович – заместитель министра промышленности Республики Беларусь, Министерство промышленности Республики Беларусь (Партизанский пр., 2, корп. 4, 220033, Минск, Республика Беларусь). E-mail: minprom4@minprom.gov.by

Шишко Сергей Александрович – заместитель главного конструктора, ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (ул. 40 лет Октября, 4, 222161, Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: office@belaz.minsk.by

Information about the authors

Pyotr A. Parkhomchik – General Director of OJSC “BELAZ” – Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING” (4, 40 let Oktyabrya Str., 222161, Zhodino, Minsk region, Republic of Belarus). E-mail: office@belaz.minsk.by

Pyotr A. Vitiaz – Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Engineering), Professor, Head of Academy Staff of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus), E-mail: vitiaz@presidium.basnet.by

Alexander N. Egorov – General Designer – Head of the Scientific and Technical Center of OJSC “BELAZ” – Management Company of the Holding “BELAZ-HOLDING” (4, 40 let Oktyabrya Str., 222161, Zhodino, Minsk region, Belarus). E-mail: office@belaz.minsk.by

Vladimir I. Moiseenko – D. Sc. (Engineering), Professor, Head Researcher, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (12, Akademicheskaja Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ks_oim@tut.by

Alexander M. Naskovets – Head of the General Layout Bureau, OJSC “BELAZ” – Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING” (4, 40 let Oktyabrya Str., 222161, Zhodino, Minsk region, Republic of Belarus). E-mail: office@belaz.minsk.by

Dmitry I. Haritonchik – Deputy Minister of Industry of the Republic of Belarus, Ministry of Industry of the Republic of Belarus (2, building 4, Partizansky Ave., 220033, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: minprom4@minprom.gov.by

Sergey A. Shishko – Deputy Chief Designer, OJSC “BELAZ” – Managing Company of Holding “BELAZ-HOLDING” (4, 40 let Oktyabrya Str., 222161, Zhodino, Minsk region, Republic of Belarus). E-mail: office@belaz.minsk.by