

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

УДК 629.114-585.2

В.Б. АЛЬГИН, д-р техн. наук, проф.
заместитель директора по научной работе¹
E-mail: vladimir.algin@gmail.com

Е.Н. БОКОВЕЦ
начальник отдела охраны интеллектуальной собственности¹
E-mail: patent@tut.by

Е.В. КУЗНЕЦОВ
аспирант¹
E-mail: evk92@mail.ru

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 26.12.2016.

РАЗВИТИЕ ВЫСОКОМОЩНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ГМТ: ПАТЕНТНЫЙ ЛАНДШАФТ, РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ, ТЕНДЕНЦИИ. ЧАСТЬ 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

Проанализированы особенности отечественных и зарубежных гидромеханических трансмиссий (ГМТ), применяемых в карьерной и внедорожной технике. Высокомощные ГМТ являются уникальными компонентами, содержат сложные для анализа и синтеза планетарные коробки передач (ПКП). Передаточные числа таких коробок сильно связаны, что не позволяет при необходимости произвольным образом варьировать их значения, соотношения и диапазон в рамках одной и той же схемы ПКП. Появление новых перспективных схем шестиступенчатых ПКП с тремя степенями свободы проблематично. Отечественные производители основывают свои разработки на известных решениях либо по заказу потребителя устанавливают зарубежные ГМТ. Рассматриваемые ГМТ разделяются по структуре на последовательные и параллельные. Для первых характерна гамма передаточных чисел с равномерным шагом. У параллельных структур может быть реализована удаленная первая передача и сближающийся ряд передаточных чисел. Освоение сверхглубоких карьеров стимулирует создание новых ГМТ со свойствами, превосходящими эксплуатируемые модели. Анализ тенденций развития ГМТ целесообразно проводить на основе патентного ландшафта и расчетного определения базовых показателей, чему будет посвящена последующая часть работы.

Ключевые слова: карьерная и внедорожная техника, гидромеханическая трансмиссия, планетарная коробка передач, схема, конструкция, передаточные числа, патентный ландшафт, расчетный анализ, тенденции

Введение. На совещании 24.11.2016 по проблемам машиностроения Президентом Республики Беларусь был задан вопрос: «Знают ли отечественные разработчики современные тенденции?». Этот вопрос можно конкретизировать следующим образом: «Анализируются ли эти тенденции при разработке продукции отечественного машиностроения, и используются ли результаты анализа?».

В статье рассматриваются поставленные вопросы применительно к высокомощным гидромеханическим трансмиссиям (ГМТ).

ГМТ во многом определяют эффективность высокомощной карьерной и внедорожной техники. При проектировании или модернизации ГМТ необходимо рассматривать и решать комплекс взаимосвязанных задач: обоснование диапазона

и числа передач, ряда передаточных чисел, выбора числа степеней свободы передачи, ее синтеза или выбора схемы и других. Высокомощные ГМТ создаются на основе планетарных коробок передач, что создает дополнительные трудности при решении указанных задач в связи со сложностью анализа и синтеза таких коробок, особенно с большим числом степеней свободы, все шире используемых в реальной практике.

В статье учитываются результаты, представленные в работах [1–3], со времени написания которых появился ряд новых патентов и публикаций. Эти данные и полученные ранее результаты целесообразно обобщить, используя новый инструментарий: патентный ландшафт в сочетании с расчетным и конструктивным анализом.

Помимо того, что в нашей стране производятся гидромеханические трансмиссии на нескольких предприятиях, дополнительную актуальность указанная тематика приобретает в связи с возможными направлениями реализации Указа Президента Республики Беларусь (2014, № 157) «Об организации производства гидромеханических передач».

Место высокомощных ГМТ среди других приводов. Трансмиссии различных типов в процессе развития расширяют сферы своего применения. Карьерные самосвалы грузоподъемностью до 90 тонн до недавнего времени оборудовались ГМТ. Белорусский автозавод первым в мире (2013) создал 90-тонный самосвал БелАЗ-75581 с электромеханической трансмиссией (ЭМТ). В России первым местом эксплуатации такого самосвала стала транспортная компания «Регион 42». Мнение о качестве этой новой техники формирует потребитель (главный инженер ООО «Регион 42» А. Галкин): «На 90-тонниках БелАЗ-75570 с ГМТ мы работаем несколько лет, хотя эта машина тоже сравнительно нова. БелАЗ-75581 с ЭМТ находится у нас несколько месяцев. Машины такого класса грузоподъемности гораздо эффективней работают с электромеханикой. Случается, что вмешиваются сложные метеорологические условия, и дорога становится скользкой. В этих условиях электромеханика всегда ведет себя лучше, чем гидромеханика. На подъемах электродвигатели позволяют работать всей трансмиссии без пробуксовок, а торможение электродинамикой на виражах и спусках обеспечивает противоскольжение колес. Самосвалы с ЭМТ не только более высокопроизводительны, но и по расходным материалам обходятся гораздо дешевле, чем собрать с ГМТ. А значит, *будущее за электромеханикой*. Считаю, что у БелАЗ-75581 хорошее будущее» [4].

БелАЗ [5] расширяет область применения самосвалов с ЭМТ по мощностному диапазону и грузоподъемности не только вверх, но и вниз.

Пример — разработка самосвала БелАЗ-75581, в котором используются новые решения в области электропривода переменного тока, которые обеспечивают передачу больших нагрузок электрическими компонентами и повышение тяговых свойств самосвала.

Одновременно БелАЗ продолжает работать над самосвалами с гидромеханическими трансмиссиями. В настоящее время им предлагается на выбор: модель 75570 с трансмиссией Allison и модель 75571 с трансмиссией БелАЗ [5].

В статье [6] область *применения* ГМТ, или ГМП — гидромеханической передачи (англ. transmission — передача, трансмиссия; привод, коробка передач) — для отечественных типажей машин определяется следующим образом: «Диапазон мощностей ДВС машин, входящих в состав перспективных типажей, весьма широк — от 150...200 до 800...1000 л. с.; можно предварительно отметить следующие возможные области применения различных типов АТ: ГМП — при всех интервалах мощности и дорожных условиях; АМТ — при малых и средних мощностях в дорожных условиях; ДСТ — при малых и средних мощностях во всех условиях; ГЭМТ — при малых и средних мощностях во всех условиях». (ДВС — двигатель внутреннего сгорания; ГМП — гидромеханическая передача; АТ — автоматическая трансмиссия; АМТ — автоматизированная механическая коробка передач; ДСТ — механическая коробка передач с двумя сцеплениями, Dual Clutch Transmission; ГЭМТ — гибридная электромеханическая трансмиссия). Таким образом, область применения отечественных ГМП в [6] определяется мощностным диапазоном от 150 до 1000 л. с.

Мировой лидер в сфере карьерной техники компания Caterpillar выпускает линейку карьерных самосвалов грузоподъемностью до 363 т (двигательные установки мощностью до 3800 л. с.), которые ранее оборудовались только ГМТ. Тем самым на практике показаны большие возможности ГМТ, что отмечается в информации 2007 года [7]: «На всех моделях самосвалов применяются гидромеханические трансмиссии с планетарными коробками передач, с переключением под нагрузкой, обеспечивающие получение от 6 до 7 передач переднего хода. Блок управления коробкой передач (ТСС) связан с электронным блоком управления двигателем (ЕСМ) и регулирует частоту вращения во время переключения передач, добиваясь оптимальных рабочих характеристик и способствуя долговечности узлов. Этот блок регистрирует основные рабочие параметры и техническое состояние узла для последующей диагностики систем обслуживающим персоналом. Применение гидромеханических трансмиссий, особенно на самосвалах высокой грузоподъемности, компания объясняет их большим коэффициентом полезного действия (КПД) —

0,82–0,85 против 0,76–0,79 у электроприводных трансмиссий, а также возможностью стабильной работы на уклонах до 15 % против 5–7 %. Для осуществления взаимосвязи работы двигателя и трансмиссии применен электронный канал передачи данных Cat Data Link. Эта система канальной связи осуществляет регулирование числа оборотов двигателя во время переключения передач с целью снижения нагрузки на привод, обеспечения плавности переключения, исключает возможность включения задней передачи при скорости движения свыше 4,8 км/ч. Она также предотвращает переключение коробки передач в нейтральное положение при скорости свыше 6,5 км/ч, что защищает коробку передач от повреждений при недостаточной смазке, исключает ее переключение с заданной передачи на более высокую, а также включение передачи заднего хода, если кузов полностью не опущен.

Следует указать, что приведенные выше данные по КПД электроприводных трансмиссий на сегодняшний день благодаря прогрессу в области компонентов электропривода устарели, являются заниженными. Caterpillar, ранее использовавший только ГМТ, в последние 7–8 лет начал производить самосвалы с электроприводом, например, самосвал 795F AC грузоподъемностью 313 тонн. Сообщается: «Система привода Cat AC обладает лучшими в отрасли показателями замедления, торможения и управляемости. Модель 795, разработанная и изготовленная компанией Caterpillar, является первым самосвалом с электрическим приводом переменного тока, поставляемым одним производителем и имеющим поддержку лучшей в отрасли дилерской сети» [8].

Мировой рекордсмен по грузоподъемности карьерный самосвал БелАЗ-7571 (грузоподъемность

450 т, двигательная установка общей мощностью 2×2298 л. с.) имеет *электромеханическую трансмиссию* [5].

Крупнейшим мировым производителем гидромеханических трансмиссий является компания Allison. Наряду с ГМТ она производит гибридные трансмиссии, во многом опираясь на технологические заделы, созданные при разработке ГМТ.

Успех компании во многом основан на разнообразии схемно-конструктивных решений, что отражается в типажах ГМТ, предлагаемых различным потребителям. Для внедорожных и военных машин разработаны специальные решения. При этом варьируются не только типоразмеры, но и гаммы передаточных чисел и другие параметры в рамках одного типоразмера. То есть продукция очень разнообразна по семействам, моделям и применимости на различных типах машин (таблица 1).

Развитие отечественной промышленности по созданию современных ГМТ в нормативных документах. Период 2007–2010 годов. В Постановлении Совета Министров Республики Беларусь 18.12.2007 № 1777 «О Программе развития автомобильной отрасли Республики Беларусь на 2007–2010 годы» ГМТ представлены в числе новых видов продукции предприятий БелАЗ и МЗКТ.

БелАЗ. Раздел 2.2. Разработка и освоение новых видов продукции: Гидромеханическая трансмиссия мощностью до 1180 кВт: «Учитывая возрастающую глубину карьеров, ПО «БелАЗ» приступило к внедрению гидромеханических трансмиссий на карьерных самосвалах особо большой грузоподъемности. Неоспоримым преимуществом гидромеханической трансмиссии над электромеханической является увеличение динамического фактора в два раза, что позволяет

Таблица 1 – ГМТ Allison [9]

Семейства и модели	Перечень
Разработанные семейства трансмиссий (Past Products)	<ul style="list-style-type: none"> - Allison V transmission — VH, VH2, VH4, VH5, VH6, VH7, VH9, VS1, VS2-6, VS2-8, V730, V731, VR731, VR731RH; - Allison MH marine reverse and reduction gear; - Allison AT transmission — AT540, AT542, AT543, AT545; - Allison MT transmission — MT640, MT643, MT644, MT647, MT648, MT650, MT653DR, MT654CR, MTB643, MTB644, MTB647, MTB648, MTB653DR, MTB654CR, MT30, MT41, MT42; - Allison HT transmission — HT740D, HT740RS, HT741, HT746, HT747, HT748, HTB748, HT750CRD, HT750DRD, HT754CRD, HT755CRD, HT755DRD, HTB755CRD, HTB755DRD; - Allison World Transmission — MD3060, MD3060P, MD3560, MD3560P, MD3066, MD3066P, HD4060, HD4060P, HD4560, HD4560P.
Выпускаемая продукция: модельные ряды (Current Commercial Products by Model)	<ul style="list-style-type: none"> - 1000 Series; - 2000 Series; - 3000 Series; - 4000 Series; - TC10; - Torqmatic Series; - Off Highway Series (5000, 6000, 8000, and 9000).

значительно увеличить среднеэксплуатационную скорость движения...».

МЗКТ. Раздел 4.2. Разработка и освоение новых видов продукции: «...Основными направлениями опытно-конструкторских работ в создании перспективного семейства гидромеханических трансмиссий в мощностном диапазоне 240–650 л. с. являются: создание унифицированного семейства 5–6-скоростных планетарных коробок передач мощностью от 240 до 420 л. с.; создание унифицированного семейства 5–8-скоростных планетарных коробок передач мощностью от 420 до 650 л. с.; создание гаммы гидротрансформаторов с коэффициентами трансформации в интервале 1,76–2,48, взаимозаменяемых в мощностных диапазонах 240–320 л. с., 320–420 л. с., 420–520 л. с., 520–650 л. с. и согласованных с соответствующими дизельными двигателями;...».

Период 2010–2015 годов. В структуре приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2011–2015 годы, раздел «Промышленные и строительные технологии и производства», пункт 19 «Макротехнология “Авто-тракторокомбайностроение”», приводится *критическая технология — разработка автомобильной, тракторной и комбайновой техники...*, в том числе:

- карьерных самосвалов грузоподъемностью 95–500 тонн с гидромеханическими, электромеханическими трансмиссиями и гибридными приводами, в том числе для глубоких и сверхглубоких карьеров;
- многоосных колесных тягачей, лесозаготовительной, дорожно-строительной и коммунальной техники, городского электротранспорта, в том числе с гидромеханическими, гидрообъемными и электромеханическими трансмиссиями, гибридными силовыми установками и управляющими электронными системами;
- высокоэнергонасыщенных тракторов, комбайнов и универсальных энергетических средств с отечественными двигателями мощностью 60–420 л. с. с гидромеханическими, гидрообъемными и электромеханическими трансмиссиями, сервисными и управляющими электронными системами (курсив наш).

Период до 2020 года. Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на

период до 2020 года предусматривает: «Развитие производства машин и оборудования для горнодобывающей промышленности и разработки карьеров ... за счет создания нового поколения экономичной карьерной и горнодобывающей техники, освоения в производстве новых моделей карьерных самосвалов повышенной грузоподъемности и дизельтроллейбзов, создания техники для работы в условиях сверхглубоких карьеров...».

Таким образом, на основе приведенных документов в период 2007–2015 годов на отечественных предприятиях БелАЗ и МЗКТ созданы GMT, а в перспективе до 2020 года они должны быть использованы при создании новых поколений экономичной карьерной и иной техники.

Новые отечественные разработки. GMT БелАЗ и подобные решения. БелАЗ разработал планетарную коробку передач по последовательной структуре [2, 10, 11] (рисунок 1).

Такие коробки передач состоят из *двух соединенных последовательно блоков с двумя степенями свободы* (см. рисунок 1). Блок А представлен в четырех видах, которые можно классифицировать по трем вариантам: с понижающей передачей (Allison MT, БелАЗ); с повышающей передачей (Allison CLBT9680); с понижающей передачей и заторможенным звеном (Caterpillar). Блок Б играет роль диапазонного редуктора; блок А обеспечивает переключение двух смежных передач при одной и той же передаче блока Б.

Передаточные числа, приведенные в таблице 2, представленных коробок с высшей прямой передачей практически одинаковы. Показатель средней плотности ряда передаточных чисел у всех коробок 1,34–1,38, что позволяет обеспечить достаточно высокий уровень использования мощности двигателя и удовлетворительную топливную экономичность карьерного самосвала [10].

Структурно коробка БелАЗ (как и другие) состоит из двух последовательных блоков. Первый блок реализует две передачи с шагом 1,34–1,38. Второй блок дает 3 передачи переднего хода: 1,00; (1,83–1,87) и 3,35 и одну заднего.

Особенностью схемы является возможность формирования передаточных чисел по геометрической прогрессии.

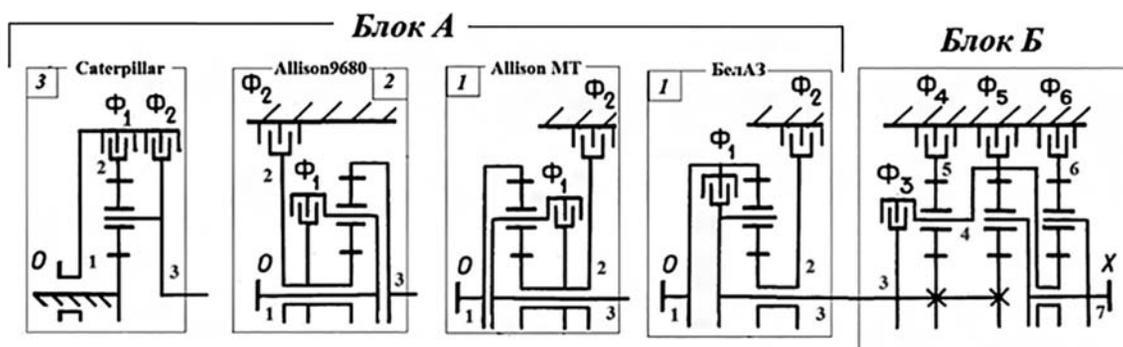


Рисунок 1 — Типовые коробки передач с последовательной структурой

Таблица 2 — Передаточные числа коробок передач с высшей прямой передачей по рисунку 1

Передача	Включаемые фрикционы	Caterpillar	Allison MT	БелАЗ-75571	БелАЗ-7516
1	$\Phi_1 \Phi_H$	4,52	4,52	4,744	4,555
2	$\Phi_1 \Phi_B$	3,35	3,35	3,448	3,351
3	$\Phi_2 \Phi_H$	2,47	2,47	2,576	2,491
4	$\Phi_2 \Phi_B$	1,83	1,83	1,872	1,832
5	$\Phi_3 \Phi_H$	1,35	1,35	1,376	1,359
6	$\Phi_3 \Phi_B$	1,0	1,0	1,0	1,0
R	$\Phi_R \Phi_H$	-4,99	-4,99	-5,054	-5,030

Примечание: Фрикционы на рисунке 1 ($\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6$) соответствуют фрикционам $\Phi_H, \Phi_B, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ и R в таблице 2 и на рисунках 2–4.

Недостатки такой схемы: наличие двух двойных переключений элементов управления на передачах переднего хода; увеличенное число планетарных рядов и элементов управления: последовательная шестиступенчатая схема имеет низкий показатель компактности 0,6 (отношение числа передач переднего хода коробки к суммарному числу планетарных рядов и элементов управления) [3].

Конструкции планетарных коробок передач (ПКП) БелАЗ, Allison MT и Caterpillar приведены на рисунках 2, 3 и 4 соответственно.

В коробке передач БелАЗ использовано техническое решение, запатентованное в Беларуси и России [12]. Коробка содержит соединенные между собой картеры: передний 1 и задний 4, который выполнен с перегородкой. Особенностью является установка в переднем картере одной фрикционной муфты Φ_B , соединяющей входной вал 9 и коронную шестерню 10 с водилом 11 первой планетарной передачи, и тормоза Φ_H , связанного с солнечной шестерней этой же планетарной передачи и закрепленного между двумя картерами. При этом в корпусе цилиндра 13 тормоза установлен подшипник задней опоры входного вала 16, а фрикционные диски тормоза Φ_H установлены между поршнем 18 тормоза и вертикальной перегородкой 5 заднего картера 4. За счет этого упрощается конструкция

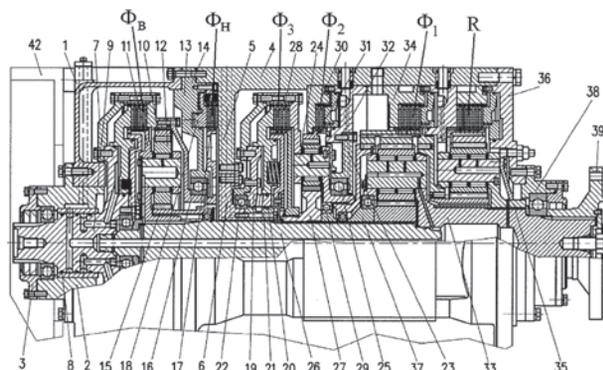


Рисунок 2 — Конструкция коробки передач GMT карьерного самосвала БелАЗ-75571 [10, 12]

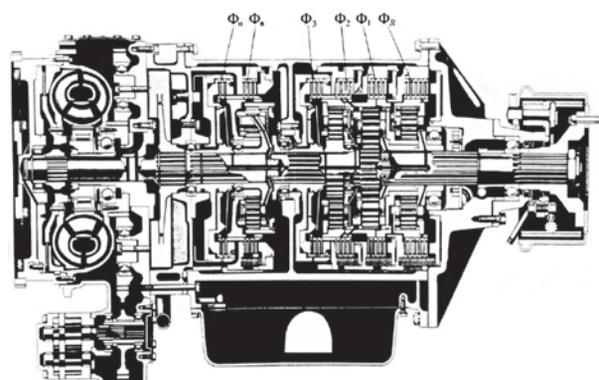


Рисунок 3 — Конструкция коробки передач Allison MT [10]

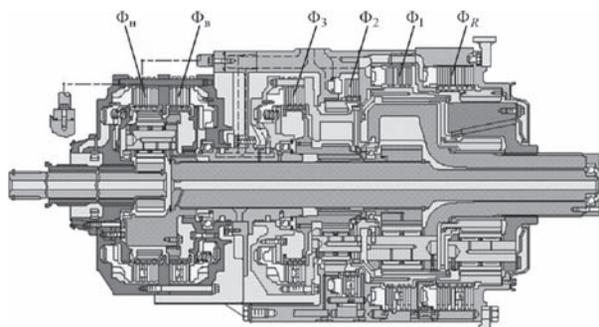


Рисунок 4 — Конструкция коробки передач Caterpillar [10]

задней подшипниковой опоры ведущего вала 16, так как она становится плавающей, не содержит уплотнительного устройства и размещена в корпусе цилиндра 13 тормоза. Такое решение позволяет осуществлять сборку ПКП путем последовательной установки деталей сначала в переднем картере, а затем в заднем картере после его установки на передний [12].

Таким образом, в коробке БелАЗ имеются два картера и две промежуточные опоры (после второго и третьего планетарных рядов), у Allison и Caterpillar — одна. В последнем случае конструкция более компактна, но требует более высокой технологии изготовления.

В схеме Caterpillar солнечное колесо первого планетарного ряда неподвижно (связано с корпусом ПКП), а корона закреплена на входном валу ПКП. На высокой ступени делителя фрикцион Φ_B связывает между собой входной вал делителя с входным валом базовой коробки передач, обеспечивая прямую передачу энергии между ними. Отмеченные особенности кинематической схемы ПКП Caterpillar создают ей определенные компоновочные преимущества [10].

Недостатком конструкции ПКП Caterpillar, по мнению авторов [10], является применение трех типоразмеров фрикционных дисков. В коробках Allison и БелАЗ использован один типоразмер (см. рисунки 2 и 3).

ГМТ МЗКТ и подобные решения. На сегодняшний день МЗКТ разработал новое семейство гидромеханических трансмиссий [13, 14]. При этом использовано техническое решение

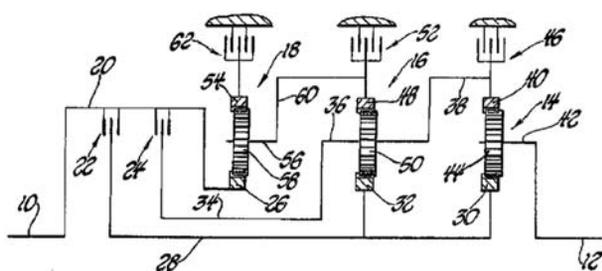


Рисунок 5 — Коробка передач по патенту US 4070927 1978 года (World Transmission, WT), используемая Allison и МЗКТ

1977–1978 годов, запатентованное в Швеции, Германии, Японии, Франции, Канаде, США, представленное на рисунке 5. Это техническое решение — наиболее цитируемое в патентных источниках по ПКП. На сегодняшний день его процитировали примерно 430 раз [15].

Положительные и отрицательные стороны коробки World Transmission (WT) известны [1, 16]. Коробка очень компактна (коэффициент компактности 0,75), переключение передач осуществляется включением одного нового фрикциона. Эти свойства делают ее уникальной среди шестиступенчатых трансмиссий. Считается, что WT нельзя превзойти. Например, в [17] при анализе WT отмечается следующее: «Возможно ли дальнейшее улучшение схемы планетарной коробки передач? Даже если улучшением схемы считать только уменьшение числа $n_{пр}$ планетарных рядов и числа $n_{у}$ фрикционов при заданном числе всех передач, то и в этом случае возможности дальнейшего улучшения минимальны».

Вместе с тем эта коробка имеет ряд недостатков [1, 16]: циркуляция мощности на повышающей передаче (следствие того, что один и тот же элемент управления используется на передаче переднего

и заднего хода; при этом муфта имеет небольшую перегрузку 1,15), высокая нагрузка фрикциона на заднем ходу (в относительных единицах более 7).

В [13] указаны области применения трансмиссии МЗКТ: «Основными адресатами применения перспективного семейства ГМП могут быть транспортные средства:

- городские автобусы (мощность до 300 л. с.);
- полноприводные самосвалы для районов Крайнего Севера, Сибири и др. (мощность 300...500 л. с.);
- шасси под установку бурового оборудования (мощность 450...650 л. с.);
- карьерные самосвалы (300...650 л. с.) (курсив наш);
- шасси для нужд обороны (мощность 300...650 л. с.);
- стационарные технологические установки (буровые комплексы, насосные станции);
- другие транспортные средства повышенной проходимости (мощность 300...650 л. с.);
- дорожно-строительная техника».

Технические характеристики семейства ГМП МЗКТ представлены в таблице 3.

ГМП Allison и МЗКТ показаны на рисунках 6 и 7 [14, 18]. Они близки по компоновочным решениям. Особенности конструкции их исполнительных механизмов проанализированы в [18].

Передаточные числа коробок с последовательной структурой. Шестиступенчатые коробки передач БелАЗ, Allison, Caterpillar. Используемая в коробках БелАЗ, Allison, Caterpillar (см. рисунок 1 и таблицу 2) последовательная структура реализует только один рациональный ряд (гамму) передаточных чисел, близкий к геометрической прогрессии, при котором имеет место примерно одинаковое соотношение (шаг) соседних передаточных чисел. Это возможно, если передаточные числа

Таблица 3 — Краткие технические характеристики семейства ГМП МЗКТ [14]

Наименование параметра	ГМП-3361	ГМП-4361	ГМП-5561	ГМП-6561
Входная мощность номинальная, кВт (л. с.)	243 (330)	316 (430)	404 (550)	478 (650)
Входной крутящий момент максимальный, Нм	1600	1750	1950	2500
Входная частота вращения максимальная, об/мин	2200			
Тип ГДТ	Трехколесный, комплексный, блокируемый			
Коэффициент трансформации ГДТ максимальный	2,6	1,75	2,11	1,95
Активный диаметр, мм	390	450	430	480
КПД ГДТ максимальный	0,87			
Тип ПКП	планетарная			
Количество передач	6 + 1			
Передаточные числа по передачам	1	4,15	4,4	
	2	2,16	2,2	
	3	1,52	1,52	
	4	1,0	1,0	
	5	0,73	0,74	
	6	0,63	0,65	
	R	-4,79	-4,95	

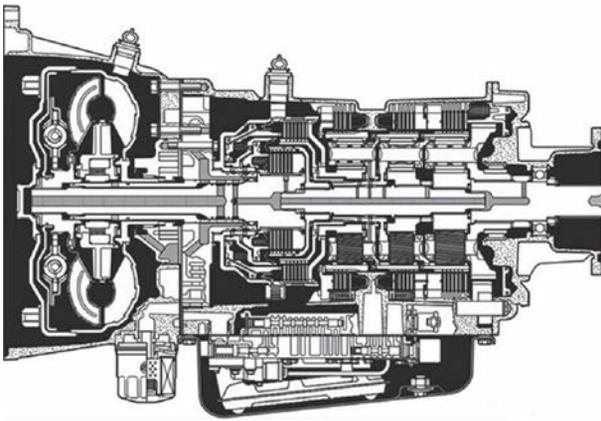


Рисунок 6 — Конструкция ГМП Allison World Transmission

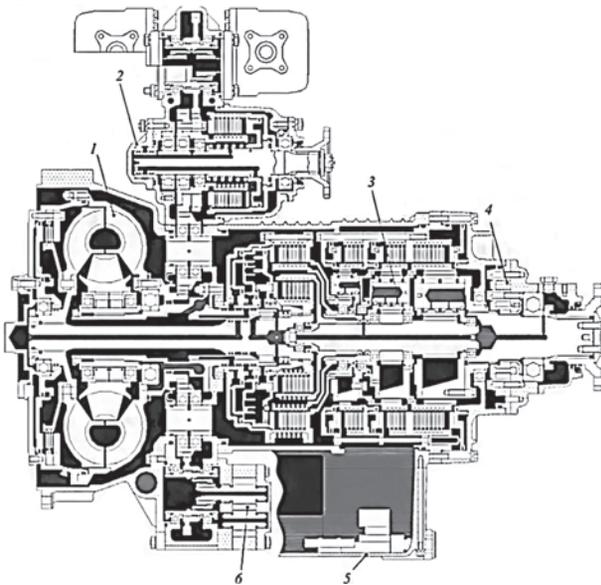


Рисунок 7 — Конструкция ГМП-500 семейства МЗКТ:
1 — гидротрансформатор; 2 — коробка отбора мощности;
3 — коробка передач; 4 — задний насос; 5 — поддон;
6 — передний насос [13]

диапазонного блока (блока Б, см. рисунок 1) будут близки квадрату передаточных чисел делителя (блока А). В противном случае гамма передаточных чисел коробки в целом станет «рваной». Следует отметить, что геометрический ряд или ряд на его основе с отклонением от геометрической прогрессии не позволяет обеспечить гамму передаточных чисел со сближающимися значениями, которая улучшает динамику разгона автомобиля.

На рисунке 8 показана основа планов скоростей ПКП с последовательной структурой, которая наглядно демонстрирует связи между обратными значениями передаточных чисел $1/u_{GB}$ таких коробок.

Семиступенчатая коробка передач Caterpillar. Наиболее мощным представителем коробок с последовательной структурой является семиступенчатая коробка передач Caterpillar. Ее схема и основа плана скоростей показаны на рисунке 9, а передаточные числа — в таблице 4. Коробка

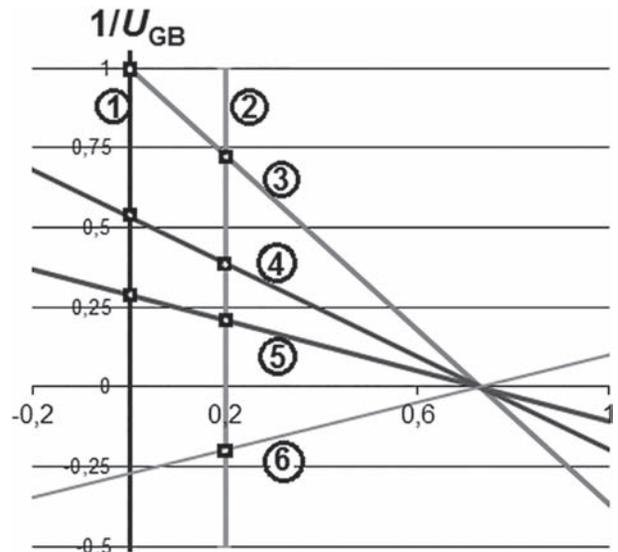


Рисунок 8 — Основы планов скоростей шестиступенчатых коробок передач с последовательной структурой БелАЗ, Allison, Caterpillar по рисунку 1

включает два последовательно соединенных блока с двумя степенями свободы. Первый блок — делитель (SPEED UNIT), второй блок состоит из диапазонного модуля (RANGE UNIT) и параллельно связанного с ним модуля реверса (REV).

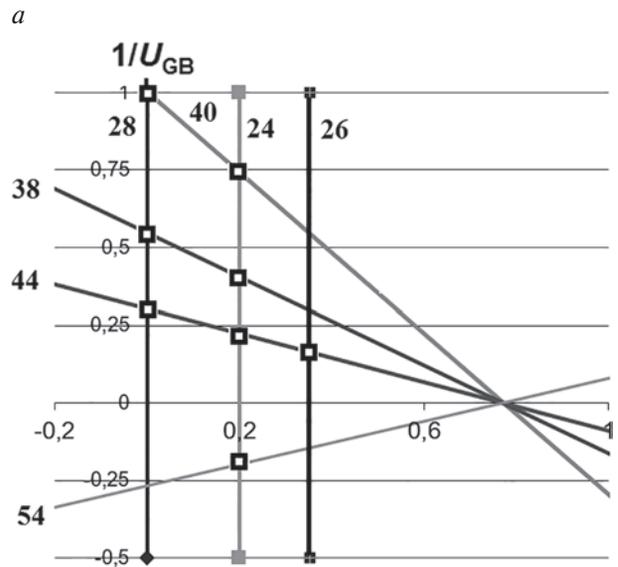
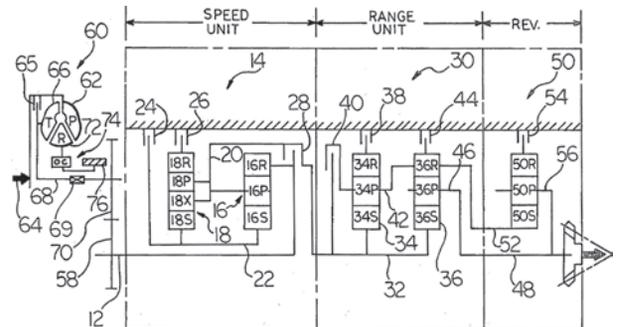


Рисунок 9 — Семиступенчатая коробка передач Caterpillar (Патент US 4205563, 1980) и основа ее плана скоростей

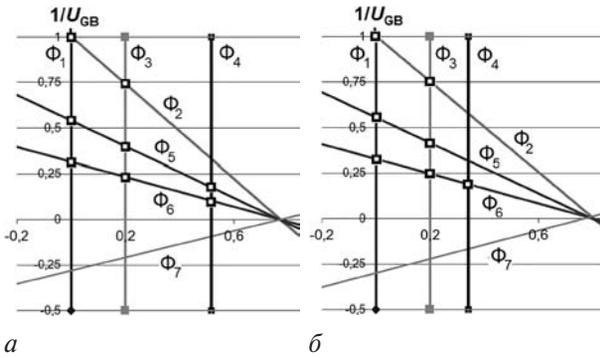


Рисунок 11 — Основа плана скоростей коробок передач Komatsu: восьмиступенчатой (а) и семиступенчатой (б)

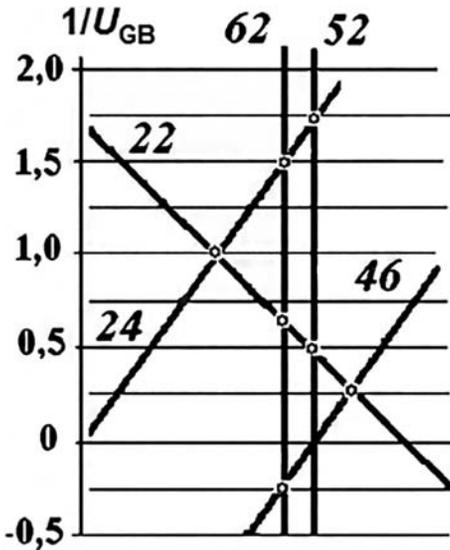


Рисунок 12 — Основа плана скоростей шестиступенчатых коробок передач со структурой WT (Allison и МЗКТ — по рисунку 5)

вторая в восьмиступенчатом варианте) организована за счет включения комбинации фрикционов $\Phi_4\Phi_6$ (вместо $\Phi_4\Phi_5$), так же как у Caterpillar (см. рисунок 9 б), для того, чтобы избежать двойного переключения передач на низших передачах.

Семиступенчатые коробки Caterpillar и Komatsu представляют собой кинематически эквивалентные механизмы. Отличия имеют место в схемном оформлении их блоков с двумя степенями свободы.

Передаточные числа ПКП с параллельной структурой. Под параллельной структурой будем понимать любую структуру, которая не может быть представлена последовательной цепью блоков с двумя степенями свободы. Самым известным представителем такой ПКП является рассмотренная выше коробка WT (см. рисунок 5). Основа плана скоростей этой ПКП приведен на

Таблица 6 — Передаточные числа коробки передач Allison 8600

Передача	1	2	3	4	5	6	R
Включены	$\Phi_1\Phi_6$	$\Phi_1\Phi_5$	$\Phi_1\Phi_4$	$\Phi_3\Phi_4$	$\Phi_1\Phi_2$	$\Phi_3\Phi_2$	$\Phi_1\Phi_7$
Передаточные числа U_{GBi}	4,24	2,32	1,69	1,31	1,00	0,726	-5,75
U_{GBi+1}/U_{GBi}	1,83	1,37	1,29	1,31	1,37		

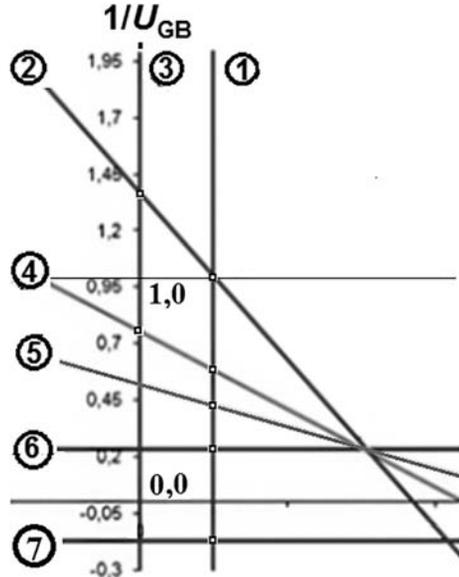
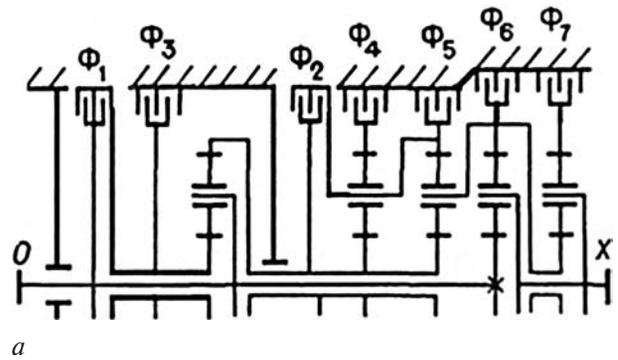


Рисунок 13 — Коробка передач Allison 8600 (а) и основа ее планов скоростей (б)

рисунке 12. В коробке передач использована параллельная двухконтурная структура, подробный анализ которой представлен в работе [16].

Шаги передаточных чисел между передачами у коробки МЗКТ 6561 (на мощность 650 л. с.) составляют:

1–2) 2,00; 2–3) 1,45; 3–4) 1,52; 4–5) 1,35; 5–6) 1,14.

Первая передача (передаточные числа приведены в таблице 3) удалена от второй (шаг 2,0).

Коробка передач Allison 8600. Еще одним представителем рассматриваемых коробок является Allison 8600, которая устанавливается на высокомоментных карьерных самосвалах Terex, Euclid, Perlini. Ее характеристики показаны на рисунке 13 и в таблице 6. Подробный анализ свойств этой коробки проведен в [1].

В отличие от семиступенчатой коробки Caterpillar переключение с 1-й по 4-ю передачи

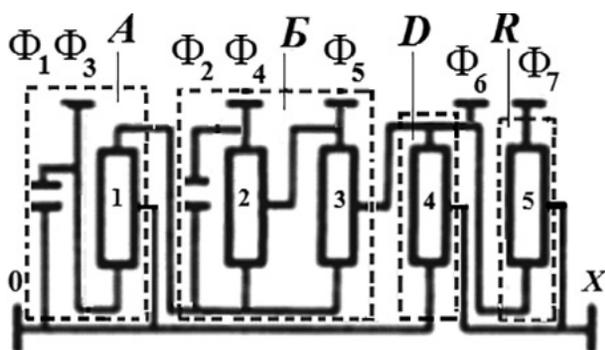


Рисунок 14 — Структура коробки передач Allison 8600

происходит одним фрикционом, двойное переключение фрикционов имеет место один раз (с 4-й на 5-ю передачу); высшая передача в коробке — повышающая.

Структурные блоки коробки передач Allison 8600 показаны на рисунке 12. Блоки А и Б соединены последовательно. Отдельно взятые эти блоки аналогичны рассмотренным выше коробкам с последовательной структурой. Однако их включение в параллельную структуру существенным образом изменяет свойства коробки в целом.

Мощность в ПКП Allison 8600 передается двумя потоками, что разгружает основную часть коробки, состоящую из последовательно связанных блоков А и Б. Силовые потоки суммируются 4-м планетарным рядом. Кроме того, он используется для получения первой передачи, значение передаточного числа которой может быть выбрано в достаточно широких пределах и не связано с остальными. В результате для первой передачи принято значение 4,24, которое удалено от второй на шаг 1,83.

О выборе (проектировании) высокомоментных ГМП. Характерные ряды передаточных чисел высокомоментных ГМП. С точки зрения теории автомобиля для ГМП с гидротрансформатором, который работает только на низших передачах, а на высших блокируется, гамма с равномерным шагом нерациональна. Однако последовательные схемы ПКП не позволяют реализовать иную гамму. Тем не менее они широко используются в составе высокомоментной карьерной техники (Caterpillar, Komatsu, БелАЗ).

В теории автомобиля выбор передаточных чисел коробки передач представлен достаточно формализованной процедурой. Предполагается, что автомобиль и его трансмиссия разрабатываются одним предприятием. В качестве исходных данных, описывающих условия применения автомобиля, задаются коэффициент сопротивления качению, коэффициент сцепления колеса с дорогой, максимальный преодолеваемый автомобилем уклон (подъем) дороги. Эти данные носят детерминированный (фиксированный) характер. Реальные условия эксплуатации карьерной и внедорожной техники весьма разнообразны. Поэтому ориентироваться на результаты описанного выбора нерационально. Вместе с тем они дают приближенный ориентир, каким должен быть диапазон коробки.

На практике высокомоментный двигатель и ГМП выбираются (или проектируются) заранее, а затем на их основе создается новый автомобиль. Для обеспечения эффективной работы выбранных двигателя и коробки или при наличии определенных ограничений на режимы работы компонентов трансмиссии может использоваться *согласующая передача*. Например, Caterpillar производит модели с согласующей передачей и без нее.

Использование конечными производителями собственных и покупных ГМП. Таблица 7 иллюстрирует варианты выбора сторонних (от специализированных фирм) или проектирования собственных ГМП конечными пользователями.

Видно, что зарубежные производители либо покупают (Terex, Euclid, Perlini), либо сами разрабатывают ГМП (Komatsu, Caterpillar). Отечественные производители предлагают варианты своей техники с собственными и покупными ГМП. В таблице 8 представлены параметры собственных и покупных ГМП отечественных производителей.

Из данных по машинам МЗКТ видно, что передаточными числами и количеством передач покупная Allison-4500 сопоставима с МЗКТ-6561 [22]. Кроме того, как отмечается в [22], у коробок Allison есть универсальные программы электронного управления, позволяющие более

Таблица 7 — Использование конечными производителями собственных и покупных ГМП

Производитель	МЗКТ	БелАЗ	Terex	Perlini	Euclid	Komatsu	Caterpillar
Модель машины	МЗКТ-7416 [21, 22]	БелАЗ-5570/75571 [23, 24]	TR 100DD [25]	Perlini DP 905 [26]	Volvo Euclid R130B [27, 28]	Komatsu HD 1500-7 [20]	Cat 797F [8]
Масса без груза, т	16,0 (тягача)	73/74	67,000	64	94,8	105,3	260,7
Полная масса, т	90	163/164	157,7	159	226,8	249,5	623,7
ГМП	Allison WT 4500/ МЗКТ 6561	Allison M8610A/ БелАЗ	Allison H8610AR	Allison DP 8963	Allison M9600-A	Komatsu	Caterpillar

Таблица 8 — Параметры отечественных машин с собственными и покупными ГМП

Параметр	МЗКТ-7416 [21, 22]	МЗКТ-7416 [21, 22]	БелАЗ-75570 [23]	БелАЗ-75571 [24]
Мощность двигателя, л. с.	600	600	1065	1065
ГМП	Allison WT 4500	МЗКТ 6561	Allison M8610A	БелАЗ
Передаточные числа ГМП на передачах				
- первая u_1	4,70	4,40	4,24	4,75
- высшая u_{NP}	0,67	0,65	0,73	1,0
Передаточное число ведущего моста u_0	6,59	6,59	21,8	19,05
Максимальная скорость, км/ч	90	90	60	55,5

тонко настраивать автоматическую ПКП для конкретных условий работы.

У самосвалов БелАЗ серии 7557 коробки передач (собственного производства и покупная) существенно отличаются. Это приводит к необходимости изменять передаточное число ведущего моста для сближения тяговых и скоростных показателей самосвалов серии 7557. На рисунке 15 приведены тяговые характеристики карьерных самосвалов БелАЗ 75570 [23] и БелАЗ 75571 [24].

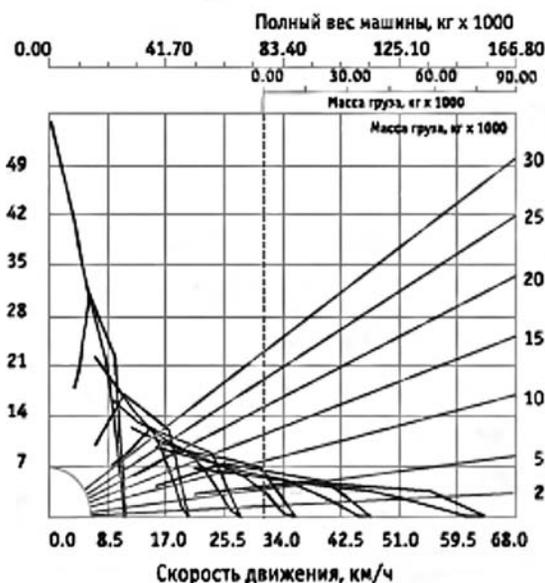
Из представленных тяговых характеристик следует, что на режиме трогания модель 75571 (с ГМП БелАЗ) превосходит по тяге модель 75570 (с ГМП Allison) в соотношении 60/55, т. е. в 1,09 раза. Расчет тяговых показателей на основе учета только механических трансмиссионных компонентов, приведенный в таблице 9, показывает обратную картину: преимущество у модели 75570 в 1,02 раза. Подобное расхождение можно частично объяснить за счет возможных различий в применяемых гидротрансформаторах, данные по которым не приведены.

По данным БелАЗ (таблице 8) максимальные скорости сопоставляемых моделей имеют соотношения 60/55,5 (т. е. отличаются в 1,08 раза). Расчет соотношения скоростей на основе учета механических трансмиссионных компонентов, приведенный в таблице 8, показывает, что максимальная скорость у модели 75570 выше в 1,2 раза.

Другую стратегию создания модификаций применяет Terex. На рисунке 16 показана тяговая характеристика самосвала TR D100DD [25] со стандартным ведущим мостом, обеспечивающим высокие тяговые свойства, но низкую максимальную скорость (47,6 км/ч). Модификация, предлагаемая потребителям, создается за счет ведущего моста с пониженным передаточным числом как опции (таблица 10). При этом максимальная скорость возрастает до 62,3 км/ч.

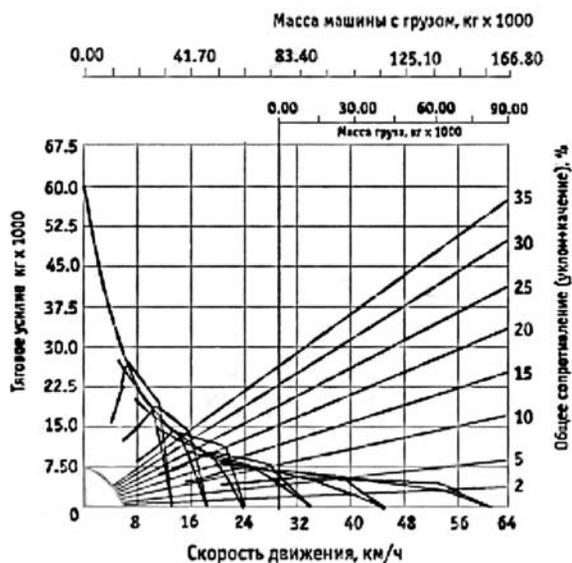
Таким образом, главным компонентом высокомошной трансмиссии является коробка передач. Она наряду с двигателем определяет облик машины. Корректировка тягово-скоростных свойств происходит не за счет коробки передач (изменения ее передаточных чисел),

Тяговые характеристики с гидротрансформатором для карьерного самосвала БелАЗ-75570 с трансмиссией „Allison“



а

Тяговые характеристики с гидротрансформатором



б

Рисунок 15 — Тяговые характеристики БелАЗ 75570 (а) и БелАЗ 75571 (б)

Таблица 9 — Соотношения тяговых и скоростных показателей трансмиссий БелАЗ, определяемые механическими компонентами (коробка, ведущий мост)

Передаточные числа трансмиссии и их соотношения	БелАЗ-75570	БелАЗ-75571
Первая передача $u_1 u_0$	92,43	90,49
Соотношение тяг, определяемое механическими компонентами	1,02	
Высшая передача $u_{NP} u_0$	15,91	19,05
Соотношение максимальных скоростей, определяемое механическими компонентами (обратное отношение передаточных чисел)	1,20	

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

Графики построены с учетом коэффициента сопротивления качению 2%.

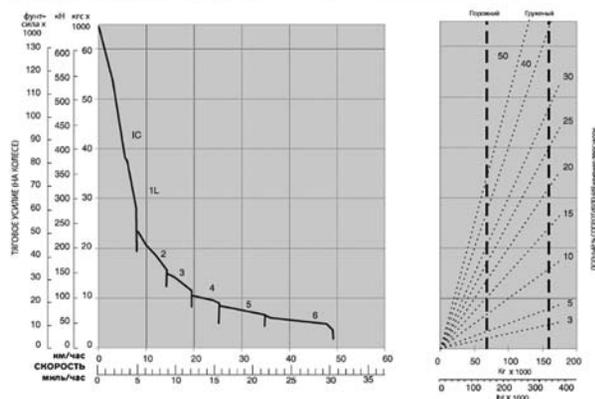
TR100DD**ПРЕОДОЛЕВАЕМЫЕ УКЛОНЫ**

Рисунок 16 — Тяговая характеристика самосвала Terex TR D100DD [25]

а изменением передаточных чисел и соответственно конструкции ведущего моста.

Развитие моделирования и расчетной практики дает возможность виртуально воспроизводить и оптимизировать работу карьерных самосвалов в любых комбинациях условий их работы (выезд из карьера, транспортировка и т. д.) и комбинациях агрегатов и параметров трансмиссии. В такой постановке следует формулировать и решать оптимизационную задачу выбора ГМП. На основе этих данных можно прийти к обоснованным выводам о преимуществах той или иной ГМП в составе определенного самосвала и для определенного карьера. Однако решающее мнение остается за потребителем, который при своем выборе может учитывать такие аспекты как надежность, оперативность ремонтного обслуживания и другие.

Вопросы надежности. Свойства схемы во многом определяют нагруженность и надежность ПКП. Так схема Allison WT (см. рисунок 5) имеет очень неблагоприятные показатели нагружен-

Таблица 10 — Соотношения тяговых и скоростных показателей самосвалов TR100DD со стандартным и опционным ведущим мостом

Параметр	Terex TR100DD [25]	
Мощность двигателя, л. с.	1050	
ГМП	Allison H8610AR	
Передаточные числа ГМП на передачах		
- первая u_1	4,24	
- высшая u_{NP}	0,73	
Передаточное число ведущего моста u_0		
	стандартный ведущий мост	опция
	29,7	22,7
Тяга при трогании, определяемая механическими и гидравлическими компонентами, кН	640 (по тяговой характеристике)	490
Максимальная скорость, км/ч		
	стандартный ведущий мост	опция
	47,6	62,3

ности, которые выявляются еще в результате анализа на схемном уровне [2]. Поэтому для высокомогущей техники Allison предлагает ГМП 9680 (см. рисунок 1), которая выполнена по последовательной схеме, либо ГМП 8600 (см. рисунок 13), выполненную по параллельной схеме, разгружающей основную коробку. У этих схем гораздо ниже схемные показатели нагруженности, чем у WT.

Из сказанного следует, что при выборе схемы недостаточно ограничиваться кинематическими характеристиками, необходимо доходить до показателей, характеризующих скрытые свойства ПКП, прежде всего нагруженность.

ГМП для сверхглубоких карьеров. В ближайшей перспективе глубина многих карьеров может составить 600–1000 м, а их уклоны — 16 % и выше, т. е. превысят существующие более чем в 2 раза. Теоретически величина уклонов определяется сцепными свойствами самосвалов и необходимо удовлетворять требованиям надзорных органов. Очевидно, создание самосвалов для сверхглубоких карьеров требует опережающей разработки новых ГМП, отличающихся большим диапазоном и большей плотностью ряда передаточных чисел. Расчеты показывают, что переход от шести- к восьмиступенчатым трансмиссиям дает повышение скорости и выигрыш по времени на 11–14 % при выезде из глубокого карьера. На участках горизонтальных и с малыми уклонами выигрыш может быть большим.

В таблице 11 для отечественных и зарубежных ПКП, которые потенциально могут быть исполь-

Таблица 11 — Характеристики ПКП, определяющие их применимость на самосвалах для глубоких и сверхглубоких карьеров

Показатель	МЗКТ 6561	БелАЗ 55571	БелАЗ 5516	Allison 8600	Allison 9600	Komatsu HD 1500-7	Caterpillar 797F
N_p	6	6	6	6	6	7	7
u_1 (или $v_{\max 1}$, КМ/ч)	4,40	4,75	4,55	4,24	4,24	11,0 КМ/ч	5,96
u_{NP} (или $v_{\max NP}$, КМ/ч)	0,650	1,0	1,0	0,73	0,72	59,0 КМ/ч	1,0
$D_{PGB} = u_1 / u_{NP}$ (или $v_{\max NP} / v_{\max 1}$)	6,77	4,75	4,55	5,84	5,89	5,36	5,96
$q_{cp} = (D_{PGB})^{1/(N_p - 1)}$	1,47	1,37	1,35	1,42	1,43	1,32	1,35

зованы на самосвалах для глубоких и сверхглубоких карьеров, показаны основные характеристики: диапазон передаточных чисел D_{PGB} , определяемый соотношением передаточных чисел первой u_1 и высшей передач u_{NP} , геометрически осредненный шаг передаточных чисел q_{cp} , а также число передач N_p .

Лучшие показатели у ПКП Caterpillar и Komatsu. Они имеют большее число передач и более высокий диапазон передаточных чисел (при практически одинаковых q_{cp}). Поэтому они в большей степени пригодны для рассматриваемых карьеров. Тем не менее их применение не обеспечивает существенного повышения эффективности ГМТ.

В 2015–2016 годах мировыми производителями заявлены и запатентованы технические решения, существенно отличающиеся от тех, которые используются на эксплуатируемой технике, в том числе от выше рассмотренных.

О патентных ландшафтах. В настоящее время мировые производители в статьях и рекламных материалах не раскрывают особенностей своих наработок и технических характеристик создаваемых уникальных компонентов. Вместе с тем, все перспективные разработки ими патентуются в том числе с целью исключения возможности реализации конкурентами подобных решений. Поэтому основным источником для отслеживания перспективных новинок мировых производителей становится анализ их патентов.

В последние годы появился *новый вид патентной аналитики* — патентный ландшафт, который позволяет выявлять, обобщать и представлять с использованием средств визуализации тенденции развития исследуемого объекта [29].

Патентный ландшафт — отчет, который в наглядной визуальной форме дает возможность оценить текущее состояние развития технологии и место вашей разработки в мире, основываясь на данных, полученных из источников патентной информации и научных публикаций [30].

Построение патентного ландшафта предусматривает анализ определенной области науки и техники, инновационной и патентной активности других лиц, тенденций развития технологии, оценки собственных патентов и сравнение с разработками конкурентов.

Для наукоемких изделий, подобных рассматриваемым ГМТ, недостаточно данных патентов и других источников, содержащих параметры объектов. В них содержится первичная информация, и в явном виде не представлены показатели, характеризующие скрытые свойства. Для планетарных коробок передач наиболее существенное значение имеют такие показатели, как моменты, передаваемые фрикционными, частоты их вращения на холостых режимах и при включении, частоты вращения сателлитов. Эти данные могут быть получены в результате наукоемких расчетов. В дальнейшем полученные показатели используются для определения на их основе комплексных показателей, характеризующих объект в целом.

Поэтому последующая часть работы посвящена исследованию свойств перспективных ГМТ, выявлению тенденций их развития с использованием патентного ландшафта и расчетного анализа.

Заключение. Высокомощные планетарные коробки передач являются уникальными объектами. Они обладают комплексом взаимосвязанных свойств, не позволяющих оптимизировать (изменяя при этом произвольным образом) гамму передаточных чисел, диапазон, вводить повышающую передачу и т. д. Новые карьерные самосвалы создаются на основе предварительно отработанных (или выбранных из известных) двигателя и ГМП.

Особенностью отечественных производителей является применение как собственных ГМП, так и покупных. Зарубежные производители ориентируются либо на собственные разработки, либо на покупные изделия.

Структура планетарной коробки во многом определяет возможную гамму ее передаточных чисел. В основе высокомоощных ПКП лежат последовательные структуры с геометрическим рядом передаточных чисел и параллельные с удаленной первой передачей. Имеющихся шести-, семиступенчатых ГМТ недостаточно для эффективной работы в сверхглубоких карьерах.

Разработка сверхглубоких карьеров в ближайшей перспективе повлечет за собой создание новых высокомоощных ГМТ с большим числом передач, что позволит им конкурировать с быстро прогрессирующими электромеханическими приводами.

Тенденции развития ГМТ, их показателей, с учетом появления в последние годы в патентах мировых производителей существенно новых решений, целесообразно выявлять на основе построения и анализа патентного ландшафта и расчетных аналитических процедур. Эта задача рассматривается в последующей части работы.

Список литературы

- Альгин, В.Б. Высокомощные гидромеханические передачи: патентно-информационное и расчетное исследование. Ч. 1: Методика / В.Б. Альгин, Е.Н. Боковец, Е.В. Кузнецов // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — № 2(31). — С. 5–15.
- Альгин, В.Б. Высокомощные гидромеханические передачи: патентно-информационное и расчетное исследование. Ч. 2: Коробки передач с тремя степенями свободы / В.Б. Альгин, Е.Н. Боковец, Е.В. Кузнецов // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — № 3(32). — С. 22–35.
- Альгин, В.Б. Высокомощные гидромеханические передачи: патентно-информационное и расчетное исследование. Ч. 3: Коробки передач с четырьмя степенями свободы и обшей / В.Б. Альгин, Е.Н. Боковец, Е.В. Кузнецов // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — № 4(33). — С. 20–35.
- БЕЛАЗ-75581 завоевывает симпатии потребителей [Электронный ресурс] / МАКСИ Экскаватор Ру. — Режим доступа: <http://maxi-exkavator.ru/articles/trucks/~id=3186>. — Дата доступа: 04.12.2016.
- Наша продукция. Карьерные самосвалы. [Электронный ресурс] / БелАЗ. — Режим доступа: <http://www.belaz.by/catalog/products/dumptrucks/>. — Дата доступа: 10.12.2016.
- Красневский, Л.Г. О создании современных автоматизированных приводов для отечественной мобильной техники. Ч. 2 / Л.Г. Красневский, С.Н. Поддубко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2016. — № 4(37). — С. 42–51.
- Карьерные самосвалы мировых производителей. По материалам ежегодника «Мировая Горная Промышленность» [Электронный ресурс] // Горная Промышленность. — 2007. — № 3. — Режим доступа: <http://mining-media.ru/ru/article/transport/982-karernye-samosvaly-mirovykh-proizvoditelej>. — Дата доступа: 04.12.2016.
- Новое. Самосвалы внедорожные 795F AC [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18232553.html. — Дата доступа: 22.12.2016
- Allison Transmission [Электронный ресурс]. — Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Allison_Transmission. — Date of access: 11.12.2016.
- Гируцкий, О.И. Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий [Электронный ресурс] / О.И. Гируцкий, В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Наука и образование: науч. издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2014. — № 3. — 36 с. — Режим доступа: <http://technomag.neicon.ru/doc/702931.html>. — Дата доступа: 10.12.2016.
- Планетарная коробка передач: пат. 2351818 РФ, МПК F16Н3/44 / А.И. Мытько, В.В. Региня, А.Н. Егоров; патентообладатель РУПП «Белорусский автомобильный завод»; заявл. 21.05.07; опубл. 10.04.09 // Бюл. № 10.
- Цитович, И.С. Анализ и синтез планетарных коробок передач автомобилей и тракторов / И.С. Цитович, В.Б. Альгин, В.В. Грицкевич. — Минск: Наука и техника, 1987. — 224 с.
- Синеговский, Г.А. Гидромеханические передачи производства ОАО «МЗКТ» / Г.А. Синеговский, Ю.И. Николаев // Строительные и дорожные машины. — 2010. — № 6. — С. 32–37.
- Николаев, Ю.И. О возможностях предприятия. Выпуск автотехники военно-технического назначения / Ю.И. Николаев // Механика машин, механизмов и материалов. — 2015. — № 2(31). — С. 97–102.
- Citing documents: US4070927 (A) — 1978-01-31 / Espacenet Patent search. — Mode of access: <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/citingDocuments?CC=US&NR=4070927A&KC=A&FT=D&ND=&date=19780131&DB=&locale=>. — Date of access: 23.12.2016.
- Альгин, В.Б. Расчет мобильной техники: кинематика, динамика, ресурс / В.Б. Альгин. — Минск: Беларус. навука, 2004. — 271 с.
- Нарбут, А.Н. Новое поколение ГМП фирмы Allison / А.Н. Нарбут, Н.И. Нарбут // Тракторы и с.-х. машины, 1995. — № 4. — С. 25–29.
- Белабенко, Д.С. Типы исполнительных механизмов современных гидромеханических передач отечественных и зарубежных производителей / Д.С. Белабенко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2016. — № 3(36). — С. 34–42.
- Osaka, T. and Sato, M. Development of Automatic Transmission for 120 Ton and 160 Ton Dump Truck // SAE Technical Paper 840782, 1984, 11 p. — DOI: 10.4271/840782.
- Komatsu. HD1500-7 [Electronic resource]. — Режим доступа: <http://lifters-loaders.ru/wp-content/uploads/pdf/cat-karyerniy-samosval-komatsu-hd1500-7.pdf>. — Дата доступа: 12.19.2016.
- Тягач седельный МЗКТ 471600-001 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mzkt.by/katalog/38/329/>. — Дата доступа: 25.12.2016.
- Новые тягачи МЗКТ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://reis.zr.ru/article/avtomobili/gruzoviki/novye_tjagachi_mzkt?page=3. — Дата доступа: 25.12.2016.
- Карьерный самосвал БелАЗ-75570 грузоподъемностью 90 тонн [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.belaz.by/uploads/userfiles/files/BELAZ-75570.pdf>. — Дата доступа: 25.12.2016.
- Карьерный самосвал БелАЗ-75571 грузоподъемностью 90 тонн [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.belaz.by/uploads/userfiles/files/BELAZ-75571.pdf>. — Дата доступа: 25.12.2016.
- Terex. Trucks. Перечень продукции [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ferronordic-volvo-ce.ru/userfiles/goods/Terex%20RDT%20Product%20Bro_RUSSIAN.pdf. — Дата доступа: 29.12.2016.
- Характеристики карьерных самосвалов внедорожных Perlini DP 905 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://maxi-exkavator.ru/excapedia/technic/perlini_dp_905. — Дата доступа: 29.12.2016.
- Характеристики карьерных самосвалов внедорожных Euclid R130B [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://maxi-exkavator.ru/excapedia/technic/euclid_r130b. — Дата доступа: 29.12.2016.
- Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. Спецвыпуск / 2016. — 127 с.
- Центр интеллектуальной собственности «Сколково» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.m-marketing.ru/retrieve/e9d70c760b273c20238e96481ac67dce/> Центр интеллектуальной собственности Сколково.pdf. — Дата доступа: 19.12.2016.

ALGIN Vladimir B., D. Sc. in Eng., Prof.

Deputy Director in Science¹

E-mail: vladimir.algin@gmail.com

BOKOVETS Elena N.

Chief of the Department of Protection of Intellectual Property¹

E-mail: patent@tut.by

KUZNETSOV Evgeni V.

Post-Graduate Student¹

E-mail: evk92@mail.ru

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 26 December 2016.

DEVELOPMENT OF LOCAL AND FOREIGN HIGH-POWER HYDROMECHANICAL TRANSMISSIONS: PATENT LANDSCAPE, ANALYSIS, TRENDS. PART 1. CASE ANALYSIS

Specifics of domestic and foreign hydromechanical transmissions for mine trucks and off-road vehicles are analyzed. High-power transmissions are unique components, that contain planetary gearboxes complicated for analysis and synthesis. Gear ratios of such gearboxes are strongly connected. This feature doesn't allow changing values of gear ratios and their correlations within the same gearbox scheme. Designing of new prospective 6-speed planetary gearboxes with three degrees of freedom is problematic. Domestic manufacturers base their new constructions on well-known solutions or use foreign transmissions according to customer's requirements. Considered powertrains are divided according to the structure in sequential and parallel. The first ones are characterized by gear ratio with the same step. Parallel schemes may have remote first gear and gear ratios bringing together. Development of deep mines stimulates producing of new hydromechanical transmissions with higher properties in comparison with well-known items. It's advisable to base analysis of hydromechanical powertrains development trends on patent landscape and estimation of basic indicators. This would be considered in the next part of this paper.

Keywords: mine trucks and off-road vehicles, hydromechanical transmission, planetary gearbox, scheme, construction, gear ratios, patent landscape, calculation analysis, trends

References

- Algin V.B., Bokovets E.N., Kuznetsov E.V. Vysokomoshhnye gidromekhanicheskie peredachi: Chast' 1. Metodika [High-power hydromechanical transmissions: patent-informational and computational investigation. Part 1. Methodology]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2015, no. 2(31), pp. 5–15.
- Algin V.B., Bokovets E.N., Kuznetsov E.V. Vysokomoshhnye gidromekhanicheskie peredachi: Chast' 2. Korobky peredach s tremya stepenyami svobody [High-power hydromechanical transmissions: patent-informational and computational investigation. Part 2. Gearboxes with three degrees of freedom]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2015, no. 4(33), pp. 22–35.
- Algin V.B., Bokovets E.N., Kuznetsov E.V. Vysokomoshhnye gidromekhanicheskie peredachi: Chast' 3. Korobky peredach s chetyrmya stepenyami svobody I obshhij analiz [High-power hydromechanical transmissions: patent-informational and computational investigation. Part 3. Gearboxes with four degrees of freedom and general analysis]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2015, no. 4(33), pp. 11–26.
- BELAZ-75581 zavoevyyaet simpatii potrebitel'ev* [BELAZ-75581 wins sympathy of consumers]. Available at: <http://maxi-ekavator.ru/articles/trucks/~id=3186/> (accessed 4 December 2016).
- Nasha produkcija. Karernye samosvaly* [Our products. Dump trucks.]. Available at: <http://www.belaz.by/catalog/products/dumptrucks/> (accessed 10 December 2016).
- Krasnevsky L.G. O sozdanii sovremennykh avtomatizirovannykh privodov dlja otechestvennoj mobilnoj tehniky. Chast' 2 [About designing modern automatized drives for local mobile machines. Part 2]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2016, no. 4(37), pp. 42–51.
- Karernye samosvaly mirovykh proizvoditelej. Po materialam ezhegodnika "Mirovaja Gornaja Promyshlennost"* [World manufacturers' dump trucks. According to materials of the Yearbook "The World Mining Industry"]. Available at: <http://miningmedia.ru/ru/article/transport/982karernyesamosvaly-mirovykhproizvoditelej/> (accessed 4 December 2016).
- Novoe. Samosvaly vnedorozhnye 795F AC [The new. Dump trucks 795F AC]. Available at: http://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/offhighwaytrucks/mining-trucks/18232553.html/ (accessed 22 December 2016).
- Allison Transmission. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Allison_Transmission (accessed 22 December 2016).
- Girutskiy O.I., Tarasik V.P., Rynkevich S.A. Razvitie konstruktivnykh i perspektivnykh avtomaticheskikh transmissiy [Developing constructions and future of automatic transmissions]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education], 2014, no. 3. 36 p.
- Mytko A.I., Reginya V.V. Planetarnaya korobka peredach [Planetary gearbox]. Certificate of authorship RF, 2351818, IPC F16H3/4, 2009.
- Tsytoich I.S., Algin V.B., Gritskovich V.V. *Analiz i sintez planetarnykh korobok peredach avtomobiley i traktorov* [Analysis and synthesis of automotive and tractor planetary gearboxes]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1987. 224 p.
- Sinegovskiy, G.A., Nikolaev Y.I. Gidromekhanicheskie peredachi proizvodstva OAO "MZKT" [MVTP hydro-

- mechanical transmissions]. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines], 2010, no. 6, pp. 37–37.
14. Nikolaev Y.I. O vozmozhnostjakh predpriyatija. Vypusk avto tehniky voennotekhnicheskogo naznacheniya [About capabilities of the enterprise. Producing of military machines]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2015, no. 2(31), pp. 97–102.
 15. *Espacenet Patent search*. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/citingDocuments?CC=US&NR=4070927A&KC=A&FT=D&ND=&date=19780131&DB=&locale=/> (accessed 23 December 2016).
 16. Algin V.B. *Raschet mobilnoj tekhniki: kinematika, dinamika, resursy* [Calculation of mobile technics: kinematics, dynamics, life]. Minsk, Belarus. Navuka, 2014. 271 p.
 17. Narbut A.N., Narbut N.I. Novoe pokolenie GMP firmy Allison [Allison's new generation of hydromechanical transmissions]. *Traktory i selskohozyaystvenniye mashiny* [Tractors and agricultural vehicles], 1995, no. 4, pp. 25–29.
 18. Belabenko D.S. Tipy ispolnitelnykh mekhanizmov sovremennykh gidromechanicheskikh peredach otechestvennykh i zarubezhnykh proizvoditelej [Actuator types of modern hydromechanical transmissions of domestic and foreign manufacturers]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2016, no. 3(36), pp. 34–42.
 19. Osaka T., Sato, M. Development of Automatic Transmission for 120 Ton and 160 Ton Dump Truck. *SAE Technical Paper*, 1984, 11 p.
 20. *Komatsu. HD15007*. Available at: <http://liftersloaders.ru/wp-content/uploads/pdf/catkaryerniyamosvalkomatsuhd15007.pdf> (accessed 19 December 2016).
 21. *Tjagach sedelnyj MZKT 471600001* [Tractor MZKT 471600-001]. Available at: <http://www.mzkt.by/katalog/38/329/> (accessed 25 December 2016).
 22. *Novye tjagachi MZKT* [New MWTP tractors]. Available at: http://reis.zr.ru/article/avtomobili/gruzoviki/novye_tjagachi_mzkt?page=3/ (accessed 25 December 2016).
 23. *Karernyj samosval BelAZ-75570 gruzopodemnostju 90 tonn* [Dump truck BelAZ-75570 with load capacity of 90 tones]. Available at: <http://www.belaz.by/uploads/userfiles/files/BELAZ-75570.pdf> (accessed 25 December 2016).
 24. *Karernyj samosval BelAZ75571 gruzopodemnostju 90 tonn* [Dump truck BelAZ-75571 with load capacity 90 tones]. Available at: <http://www.belaz.by/uploads/userfiles/files/BELAZ-75571.pdf> (accessed 25 December 2016).
 25. *Terex. Trucks. Perechen produkcii* [Terex. Trucks. The list of products]. Available at: http://ferronordicvolvoce.ru/userfiles/goods/Terex%20RDT%20Product%20Bro_RUSSIAN.pdf (accessed 29 December 2016).
 26. *Harakteristiki karernyh samosvalov vnedorozhnyh Perlini DP 905* [Characteristics of off-road dump trucks Perlini DP 905]. Available at: http://maxiexkavator.ru/excapedia/technic/perlini_dp_905/ (accessed 29 December 2016).
 27. *Harakteristiki karernyh samosvalov vnedorozhnyh Euclid R130B* [Characteristics of off-road dump trucks Euclid R130B]. Available at: http://maxiexkavator.ru/excapedia/technic/euclid_r130b/ (accessed 29 December 2016).
 28. *Intellektualnaja sobstvennost. Promyshlennaja sobstvennost. Specvyypusk* [Intellectual property. Industrial property. Special edition]. 2016. 127 p.
 29. *Centr intellektualnoj sobstvennosti "Skolkovo"* [Intellectual property center "Skolkovo"]. Available at: http://www.mmarketing.ru/retrieve/e9d70c760b273c20238e96481ac67dce/Центр_интеллектуальной_собственности_Сколково.pdf (accessed 19 December 2016)..