

Д.Г. Асланов¹, А.В. Ершов², Е. Зинулла³

¹Азербайджанские железные дороги,
г. Баку, Азербайджанская Республика

^{2, 3}"Электровоз курастыру зауыты",
г. Астана, Республика Казахстан

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ И БАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОВЗОВ СЕРИЙ KZ8A И KZ4AT, ПЛАНИРУЕМЫХ К ЭКСПЛУАТАЦИИ НА АЗЕРБАЙДЖАНСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Аннотация. В статье отражены технические характеристики и анализ результатов испытаний казахстанских грузовых и пассажирских электровозов нового поколения серий KZ8A и KZ4AT, которые разработаны по технологии французской компании и производятся в Казахстане. Дан обзор по производству и эксплуатации электровозов подобного класса за рубежом, в том числе в Европе. Проведены сертификационные и приемочные испытания электровозов, которые предусматривают виброакустические тесты, санитарно-экологические испытания, а также проверку уровня электромагнитного излучения. В условиях климатической камеры завершены испытания электровоза, подтвердившие работоспособность наружного оборудования в диапазоне от -50 до +45 °С. Сравнительный анализ характеристик первых казахстанских электровозов серий KZ8A и KZ4AT показывает, что данные локомотивы очень экономичны в расчете на жизненный цикл, обладают более высокими тяговым характеристиками, увеличенными межремонтными пробегами в сравнении с электровозами данного класса. На базе казахстанского электровоза серии KZ8A разработана модификация грузового электровоза AZ8A для азербайджанских железных дорог.

Ключевые слова: электровозы, технические показатели электровозов, технологическая разработка, инновационные решения.



Түйіндеме. Бұл тармақта жаңа дәуірлік Қазақстандық KZ8A және KZ4AT сериялық жүк пен жолаушы электровоздарының техникалық мәліметтері мен сынақ нәтижелері берілген, француз компаниясы Alstom Transport SA (Франция) технологиясы бойынша жасалған. Өндіріс бойынша шолу мен шетелде пайдалану аналогы берілген, бұнымен қоса Европа елдеріне де. Сертификаттау және қабылдау тестілеу, экологиялық тестілеу және электромагниттік сәулелену деңгейін тексеру жүзеге асырылды. Электровоздың климаттық тексерулері оның ашық жабдықтарының -50 бастап +45 °C қа дейін шыдамдылығын растады. Электровоз KZ8A және KZ4AT сипаттамаларын салыстырмалы түрде талдау, өмірлік циклінің негізінде, осы қозғалтқыштар өте үнемді екенін көрсетеді, жоғары тартқыш сипаттамалары бар, бұл сынып электровоздар салыстырғанда күрделі жөнделу өндірді. Қазақстандық KZ8A сериялық электровоздарының негізінде, AZ8A жүк электровозының Азербайджан темір жолдарына арналған модификациясы құрастырылды.

Түйінді сөздер: электровоз, техникалық сипаттамалар, технологиялық дамуы, инновациялық шешімдер, жоғары сапалы.



Abstract. In this article the specifications and analysis of the test results of Kazakh freight and passenger electric locomotives of KZ8A and KZ4AT series, developed under technology of Alstom Transport SA (France) are given. An overview about production and operation of one-class electric locomotives in other countries, including Europe, is represented. The certification and acceptance inspections of electric locomotive were implemented which included vibro sonorous testing, sanitary ecological testing and level check of electromagnetic emission. At climatic chamber conditions the testing of electric locomotives were implemented which approved the efficiency of the outdoor equipment within the temperature from -50 up to +45°C. Comparative analysis of characteristics of electric locomotives KZ8A and KZ4AT shows that these electric locomotives have effective life cycle and possess the highest traction characteristics, augmented repair interval in comparison with electric locomotives of the given class. On the base of KZ8A series Kazakhstan locomotive the modification of freight electric locomotive AZ8A series was developed for Azerbaijan.

Key words: electric locomotives, performance, technological development, innovative solutions, prevailing performance.

Введение. Одной из главных задач развития азербайджанской железнодорожной отрасли сегодня является эксплуатация мощных, современных локомотивов с улучшенными тяговыми характеристиками. В стране активно идет реконструкция железных дорог. Благодаря своему геополитическому расположению Азербайджан является участником проекта строительства Новой железнодорожной линии Баку – Тбилиси – Карс протяженностью 825 км. Из них по территории Азербайджана – 503 км, по территории Грузии – 244,5 км, по территории Турецкой Республики – 77,5 км. Данная железнодорожная ветка, в свою очередь, является одним из важных связующих участков транспортного коридора Европа – Кавказ – Азия, ввод в эксплуатацию которой значительно увеличит объемы внутренних и транзитных грузоперевозок через территорию республики [1].

Кроме того, в настоящее время потребность в электровозах нового поколения обусловлена необходимостью обновления парка электровозов азербайджанских железных дорог, 80 % которого в ближайшее время уже превысит возраст 40 лет.

Строительство и выведение на проектную мощность нового завода по сборке магистральных электровозов переменного тока в г. Астане – ТОО "Электровоз курастыру зауыты" – стало одной из важнейших инициатив Казахстана в развитии региона, что позволило рассмотреть его продукцию как потенциальную для эксплуатации в условиях Азербайджана.

В числе электровозов данного класса, собираемых в европейских странах, можно назвать французский электровоз серии Prima II, основные технические характеристики которого в грузовом варианте исполнения приведены в табл. 1, а тягово-тормозные характеристики представлены на рис. 1.

Электровоз Prima II разработан учеными и специалистами инженерингового центра компании "Альстом Транспорт SA" и эксплуатируется в настоящее время в Европе и на севере Африки. Основные его конкурентные преимущества:

- повышенная производительность;
- увеличенные тяговые характеристики, позволяющие перевозить грузы в горных окрестностях;

- система рекуперативного торможения;
- совместимость с 4-мя различными типами напряжения электроэнергии 25 кВ, 15 кВ, 3000 В и 1500 В, благодаря чему он с легкостью может быть адаптирован к стандартам безопасности во многих регионах мира.

Таблица 1

Технические характеристики электровоза Prima II

Параметр	Значение
Длина по буферам, м	19,1
Расстояние между центрами тележек, м	10,4
Колесная база тележек, м	2,6
Диаметр новых колес, мм	1150
Общая масса, т	86
<i>в том числе:</i>	
тележка	17
трансформатор	12,3
моторный блок	3
Максимальная мощность на тягу, кВт, при питании от контактной сети:	
постоянного тока 1,5 кВ	5000
постоянного тока 3 кВ и переменного тока 15 кВ, 16,7 Гц	6000
переменного тока 25 кВ, 50 Гц	6400
Сила тяги при трогании, кН	320
Максимальная эксплуатационная скорость, км/ч	140
Максимальная мощность при электрическом торможении, кВт:	
рекуперативном	6400
реостатном	2600
Максимальное тормозное усилие при электрическом торможении, кН	150
Длина тормозного пути со скорости 140 км/ч, м	1000
Минимальный радиус проходимых кривых, м	80

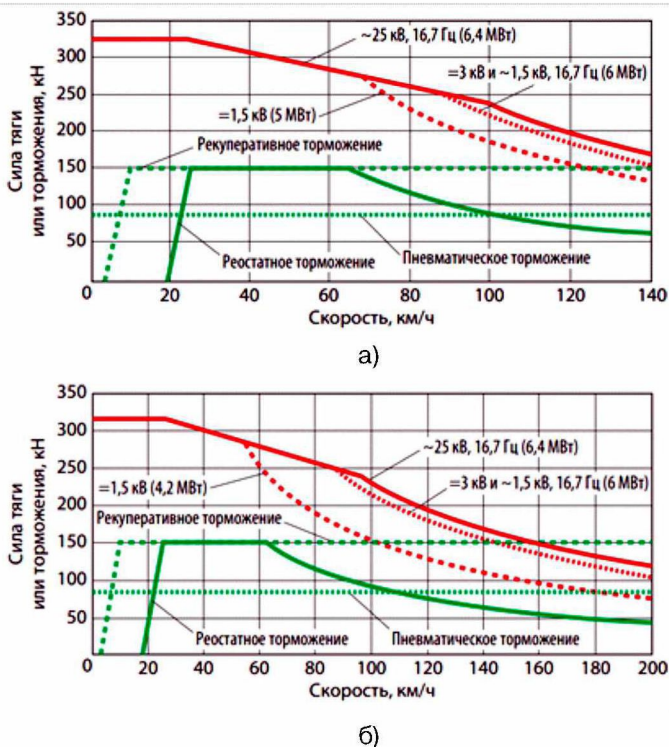


Рис. 1. Тягово-тормозные характеристики электровоза Prima II: а) в грузовом варианте; б) в пассажирском варианте

Для диагностики и обслуживания Prima II на протяжении жизненного цикла применяется специализированное программное обеспечение Traintracer, которое позволяет получить доступ к основным модулям и оборудованию [2].

В числе электровозов подобного класса также можно назвать магистральный грузовой электровоз переменного тока серии 2ЭС5 российского производства с осевой формулой $2x2o-2o$, в котором применяются новые системы автоведения грузового поезда. Наличие в тяговой системе электровоза 2ЭС5 индивидуальных преобразователей для питания тяговых двигателей вы-

зывает индивидуальную реакцию каждого из двигателей на изменение внешних условий работы, хотя бы одного из них. Это снижает вероятность возникновения буксования, а при его появлении обеспечивает быстрое гашение. Таким образом, асинхронный тяговый привод с индивидуальными инверторами напряжения и поосным регулированием позволяет улучшить тяговые характеристики, снизить энергопотребление и затраты на техническое обслуживание. Электровоз 2ЭС5 отличается высокими технико-экономическими показателями, а также современной тяговой системой, характеристики которых приведены в табл. 2 и на рис. 2 соответственно [3].

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели электровоза 2ЭС5

Характеристика	Значение показателя
Год начала выпуска	2012
Тип тягового привода	Асинхронный
Мощность продолжительного режима на валах тяговых двигателей, кВт, не менее	8400
Коэффициент мощности в продолжительном режиме,	Не менее 0,95
КПД в продолжительном режиме	Не менее 0,86
Сила тяги, кН:	
при трогании с места	833
в продолжительном режиме	595
Максимальная скорость в эксплуатации, км/ч	120
Статическая нагрузка от колесной пары на рельс, кН (тс)	245 (25)
Максимальное тормозное усилие, кН	500
Мощность рекуперативного тормоза, кВт	7600
Масса электровоза, т	200
Регулирование тягового усилия	Поосное
Питание двигателей вспомогательного привода	Статический преобразователь
Система противогаза	Есть
Срок службы электровоза, лет	40

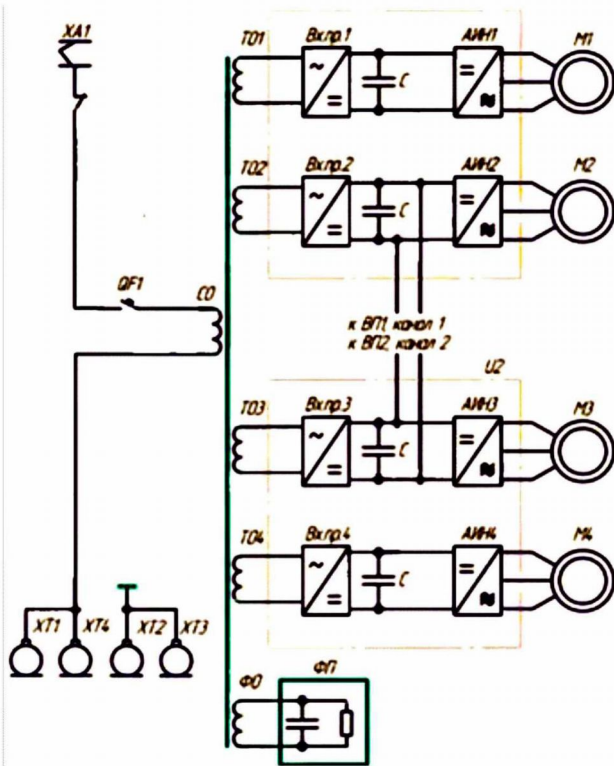


Рис. 2. Тяговая система электровоза 2ЭС5

Цель работы – изучение результатов испытаний магистральных электровозов KZ8A и KZ4AT, а также проведение сравнительного анализа с другими электровозами этого класса □

Методы исследований. Организованы динамические и валидационные испытания на территории Казахстана, России, Франции и Австрии, в том числе с коммерческими грузовыми поездами массой 6500 т и более. Проведены сертификационные и приемочные испытания электровозов, предусматривающие виброакустические тесты, а также проверку уровня электромагнитного излучения [4]. Технические характеристики и их

преимущества определялись методом сравнительно анализа с другими электровозами одного класса.

Основные результаты. Для изучения определены магистральные электровозы серий KZ8A и KZ4AT. Результаты проведенных испытаний показали, что данные локомотивы очень экономичны в расчете на жизненный цикл, обладают более высокими тяговыми характеристиками, увеличенными межремонтными пробегами. Основные технико-экономические параметры электровозов приведены в табл. 3, а тяговые характеристики KZ8A представлены на рис. 3 и 4.

Таблица 3

Основные технические характеристики KZ8A и KZ4AT

Характеристика	KZ8A	KZ4AT
1	2	3
Осевая формула	2 x 2o-2o	2o-2o
Род службы	Грузовой	Пассажирский
Кузов	Стальной	Стальной
Ширина колеи, мм	1520	1520
Полная длина, мм	2x17,500	19,000
Служебная масса с 2/3 запаса песка и 100%-ном заполнении емкостей водой, т		2x100 86
Диапазон рабочих температур, °С	-50 до +45	
Тележки		
Тяговый двигатель	Асинхронный, с опорно-осевым подвешиванием	
Диаметр колеса, мм	1250	
Технические данные		
Мощность на валах, кВт	8800	4800
Контактная сеть	25 кВ переменного тока 50 Гц	
Максимальная скорость, км/ч	120	200
Скорость длительного режима, км/ч	50	84
Сила тяги при трогании, кН	833	264
Сила тяги в длительном режиме, кН	633	205
Рекуперативное торможение, кВт	7600	4400
Максимальное тормозное усилие, кН	500	

1	2	3
---	---	---

Тяговый преобразователь

Тип	Асинхронный, переменного тока
IGBT	3,3 кВ/1200 А
Шина постоянного тока, В	1800
Охлаждение	Водяное

Аккумуляторные батареи

Тип	Никель-кадмиевые
Напряжение, В	1110
Емкость, А-ч	1130

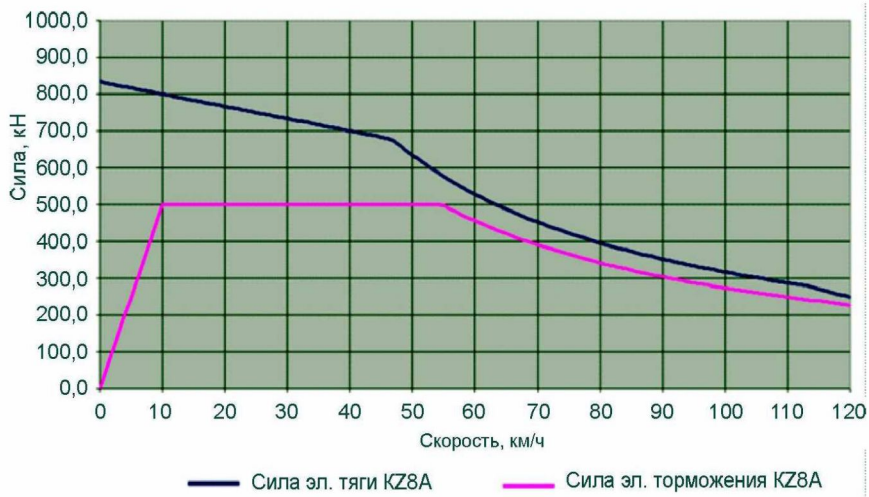


Рис. 3. Электрическая тяга/тормозная сила в сравнении с кривыми скоростей вращения – на ободу колеса, при 25 кВ

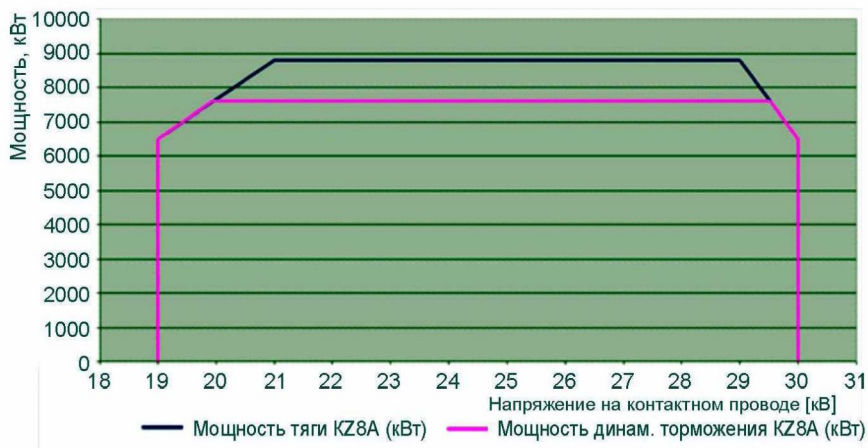


Рис. 4. Мощность в сравнении с кривой напряжения на контактном проводе – на ободу

KZ8A – магистральный грузовой электровоз с асинхронным тяговым двигателем, состоящий из 2-х секций. С помощью улучшенных тяговых характеристик и высокой мощности возможно использование одной двухсекционной единицы KZ8A вместо 3-х секций электровоза серии ВЛ-80 при массе поезда до 9000 т. Конструкция электровоза KZ8A обеспечивает при необходимости соединение с другой секцией электровоза по системе многих единиц 3 х (2о-2о), под управлением одного машиниста из одной (любой) головной кабины. При этом используется дополнительное высоковольтное соединение всех секций для возможности питания локомотива от одного токоприемника. Машинисту, находящемуся в головной кабине, предоставляется вся оперативная и диагностическая информация о режимах работы оборудования всех секций. Электровоз также позволяет эксплуатацию по двойной тяге - в голове, середине и конце грузового поезда со скоростью до 120 км/ч. Вместе с тем возможна установка беспроводного дистанционного управления (*Технический паспорт электровоза KZ8A*).

KZ4AT – пассажирский магистральный электровоз переменного тока с асинхронными тяговыми двигателями имеет односекционное исполнение с колесной формулой 2o-2o и нормативной нагрузкой на ось 21,5 т. Максимальная скорость электровоза – 200 км/ч. Данный электровоз сконструирован с учетом максимальной унификации с грузовым электровозом KZ8A. Локомотив данной серии также может эксплуатироваться по системе многих единиц под управлением одного машиниста (*Технический паспорт электровоза KZ4AT*). Технологическая разработка данных электровозов включает:

Инновационные решения

- Асинхронный тяговый привод с поосным регулированием – тяговые электрические машины асинхронные с короткозамкнутым ротором, обеспечивают высокую надежность эксплуатации без проведения планового технического обслуживания в промежутках между текущими ремонтами электровозов.
- Тяговый преобразователь на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT.
- Преобразователь собственных нужд с регулированием производительности и плавным пуском вентиляторов и компрессоров.
- Микропроцессорная система управления, диагностики и безопасности движения (целью системы управления и мониторинга является контроль и регистрация событий в подсистемах электровоза, а также состояния оборудования для предоставления комплексного отчета машинисту на дисплее).
- Система автоведения поезда с использованием средств спутниковой навигации.
- Рекуперативное торможение.

Тяговые преобразователи IGBT

На электровозах применены тяговые преобразователи, использующие IGBT транзисторы для питания асинхронных тяговых двигателей с короткозамкнутым ротором. Каждая тяговая обмотка трансформатора питает четырехквadrатный импульсный выпрямитель, обеспечивающий постоянную величину напряжения по постоянному току. Данная цепь имеет устройство

фильтрового затухания перенапряжений и разрядного конденсатора. Цепи постоянного тока, в свою очередь, питают 4 высоковольтных инвертора, на каждый из которых включен один тяговый двигатель, осуществляющий поосное регулирование тяги.

В штатном режиме эксплуатации в каждой секции один преобразователь обеспечивает трехфазный источник питания напряжением 400 В 50 Гц для питания всего вспомогательного оборудования, требующего питания с фиксированной частотой (*Руководство по эксплуатации электровоза KZ8A*).

В целях понижения шума и экономии электроэнергии второй преобразователь каждой секции работает на переменной напряжении и частоте для питания всего вспомогательного оборудования. В случае отказа одного преобразователя вспомогательное оборудование переменного тока автоматически переключается на второй вспомогательный преобразователь (*Руководство по эксплуатации электровоза KZ8A*).

Микропроцессорная система управления

Микропроцессорная управляющая система электровоза состоит из подсистем, обеспечивающих основные функции по управлению движением поезда. Данные подсистемы обеспечивают, контролируют и фиксируют результаты работы оборудования, включая прием на локомотив информации от причастных служб о поездной ситуации, изменении условий движения поезда, а также записи информации о характеристиках поездки, особенностях работы оборудования в электронную память с последующей передачей информации по радиоканалу (*Руководство по эксплуатации электровоза KZ8A*).

В соответствии с полученными результатами испытаний и анализа технических параметров электровозов серий KZ8A и KZ4AT можно заключить, что для их эксплуатации применяются современные европейские технологии, в том числе система управления и диагностики. Казахстанский электровоз значительно превосходит по тягово-энергетическим характеристикам локомотивы более раннего производства, сравнительный анализ которого приведен в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение технических характеристик локомотивов различных моделей [5]

Характеристика	KZ4AT	ЧС4Т	ЭП1
Осевая формула	2о-2о	3о-3о	2о-2о-2о
Мощность на валах тяговых двигателей, кВт	4800	5100	4700
Конструкционная скорость, км/ч	200	160	140
Скорость длительного режима, км/ч	84	108	72
Тяговый электродвигатель	асинхронный	коллекторный	асинхронный
Электрическое торможение	рекуперативное	реостатное	рекуперативное
Контактная сеть	25 кВт 50 Гц	25 кВт 50 Гц	25 кВт 50 Гц
	KZ8A	2ЭС5К	ВЛ80т
Осевая формула	2х(2о-2о)	2х(2о-2о)	2х(2о-2о)
Мощность на валах тяговых двигателей, кВт	8800	6560	6520
Сила тяги при длительном режиме, кН	79,1	53,8	51,1
Конструкционная скорость, км/ч	120	110	110
Тяговый электродвигатель	асинхронный	коллекторный	коллекторный
Электрическое торможение	рекуперативное	реостатное	реостатное
Коэффициент полезного действия	0,86	0,86	0,84
Коэффициент мощности	0,98	0,90	0,84

В свою очередь, применение современных технологий при производстве казахстанских электровозов позволило увеличить их межремонтные пробеги, сравнительные показатели которых приведены в табл. 5.

Таблица 5

Периодичность технических осмотров и ремонтов [6]

	KZ8A	2ЭС5К	ВЛ80
T02, T0, ч	888	120	48
ТР1, ТР, тыс. км	150	30	24
ТР2, тыс. км	—	—	200
ТР3, СР, тыс. км	1200	600	400
КР1, тыс. км	—	—	—
КР, КР2, тыс. км	3000	2400	2400

Выводы. Выполнен анализ эксплуатационных характеристик электровозов серий KZ8A и KZ4AT, впервые произведенных в Казахстане по европейской технологии. Установлено, что казахстанские электровозы не уступают, а по некоторым позициям превосходят электровозы производства ближнего и дальнего зарубежья. Таким образом, на основании наших исследований определены следующие преимущественные характеристики KZ8A и KZ4AT по сравнению с локомотивами на электрической тяге данного класса:

- Увеличение межремонтных пробегов – в 3 раза
- Увеличение конструкционной скорости – на 10 %
- Экономия электроэнергии – на 20 %
- Увеличение веса поезда – на 30 %

Электровозы серий KZ8A и KZ4AT обладают повышенными техническими параметрами, которые позволяют данным локомотивам конкурировать в своем классе и быть доступными на рынке. Изученные и описанные в статье характеристики и результаты испытаний электровозов, впервые произведенных в Казахстане по европейской технологии, имеют значительную ценность для оценки их конкурентных преимуществ и представляются научным интересом для развития железнодорожной отрасли.

Список литературы

- 1 *Ahmedov H.M., Aslanov J.G.* Diagnostic ways of test of locomotives with determination of their power//Azerbaijan Technical University Scientific Works. – 2013. – № 1. – Baku. – P. 139-142.
- 2 *Claire L.* Prima 2 locomotive / Chemins de Fer. – 2010. – № 2. – P. 6-16.
- 3 *Солтус К. П.* Грузовой электровоз переменного тока 2ЭС5 // Железные дороги мира. – 2013. – № 7. – С. 49-55.
- 4 *Jaromir Pernicka.* KTZ's new electric locomotive // Railvolution, 2014. – С. 48-49.
- 5 *Экгардт В.Ф.* Расположение основного оборудования на электровозе ЭП1 // Локомотив. – 2008. – № 1. – С. 5.

6 Николаев А.Ю., Сесявин Н.В. Устройство и работа электровоза ВЛ80: учеб. пособие, 2006. – С. 27-28.

Асланов Джейхун Гюлбала оглы, инженер проектной группы "Баку – Тбилиси – Карс", e-mail: aslanovc@gmail.com

Ершов Андрей Валерьевич, заместитель генерального директора, коммерческий директор, e-mail: andrey.yershov@ekz.com.kz

Еркен Зинулла, ведущий инженер, e-mail: e.zinulla@ekz.com.kz