



РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Научно-техническая библиотека

РАЗВИТИЕ ЛОКОМОТИВОСТРОЕНИЯ

аналитический обзор научной литературы



Ростов-на-Дону
2021

Составитель: библиотекарь ЧЗ НТБ РГУПС Г.Л. Демидова

«Стабильное, слаженное функционирование всех звеньев железнодорожного транспорта – одно из приоритетных, ключевых условий динамичного развития экономики России, укрепления ее промышленного потенциала, реализации масштабных инфраструктурных проектов»

Президент России В.В. Путин.

От момента открытия Царскосельской железной дороги и по настоящее время стальные магистрали в полной мере разделили все те трудности, невзгоды и победы, которые выпали на долю нашей Родины. В производственно-экономическом прорыве России, который страна совершила в течение XX века, есть огромная заслуга железнодорожников. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») гордится тем, что является правопреемником и хранителем славных традиций всех предшествующих поколений российских железнодорожников.

Предлагаем обзор статей по истории локомотивостроения. В начале обзора представлены статьи, посвященные тепло- и электровозостроительным заводам нашей страны, которые недавно отметили свои юбилеи.

В журнале «Локомотив» под рубрикой «Страницы истории» дается материал о машиностроительных заводах, которые многие десятилетия выпускали и выпускают подвижной транспорт для железных дорог Советского Союза, России. Приводятся характеристики подвижного состава изготавливаемого за годы существования заводов-юбиляров. Те локомотивы, которые выпускались в большом количестве (серийно), их конструкции и особенности эксплуатации описаны наиболее подробно.

В следующем блоке статей дается информация о наиболее перспективных видах тяги. Альтернативными источниками энергии является природный газ, водород, аккумуляторные батареи.

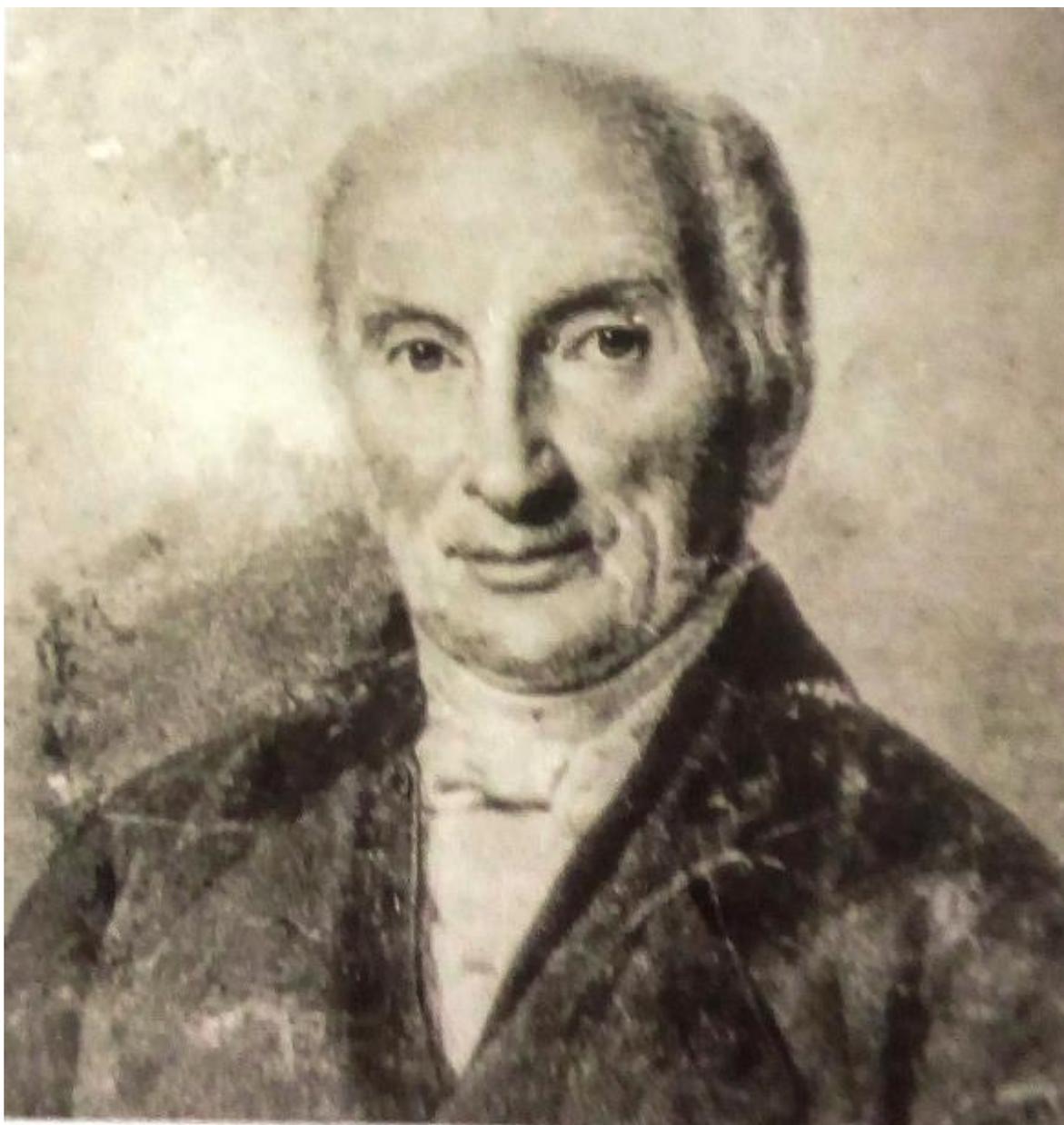
Предлагаем ознакомиться и со статьями, написанными сотрудниками Ростовского государственного университета путей сообщения кафедры «Тяговый подвижной состав».

В конце обзора дан перечень используемой литературы, в которой можно найти более подробные сведения по затронутым вопросам. Предлагаемый обзор не претендует на исчерпывающее освещение данной темы.

Людиновский тепловозостроительный завод

Самому старейшему Людиновскому тепловозостроительному заводу в 2015 году исполнилось 270 лет. Именно здесь были выпущены первые рельсы и первые узкоколейные паровозы для железных дорог России, первые пароходы и паровые машины, ставшие прообразом первого парового автомобиля. Тепловозы с маркой ЛТЗ получили широкое признание. Елсукова М.А. и Ерохина Н.И. описывают историю создания Людиновского тепловозостроительного завода и показывают его роль в истории промышленности России [7]. Эта статья о начале паровозостроения в России.

В 1732 году Никита Демидов приступает к строительству Людиновского завода как горного и железоделательного предприятия. В 1820 году Людиновский и Сукременский заводы приобретает Иван Мальцов.



Иван Акимович Мальцов

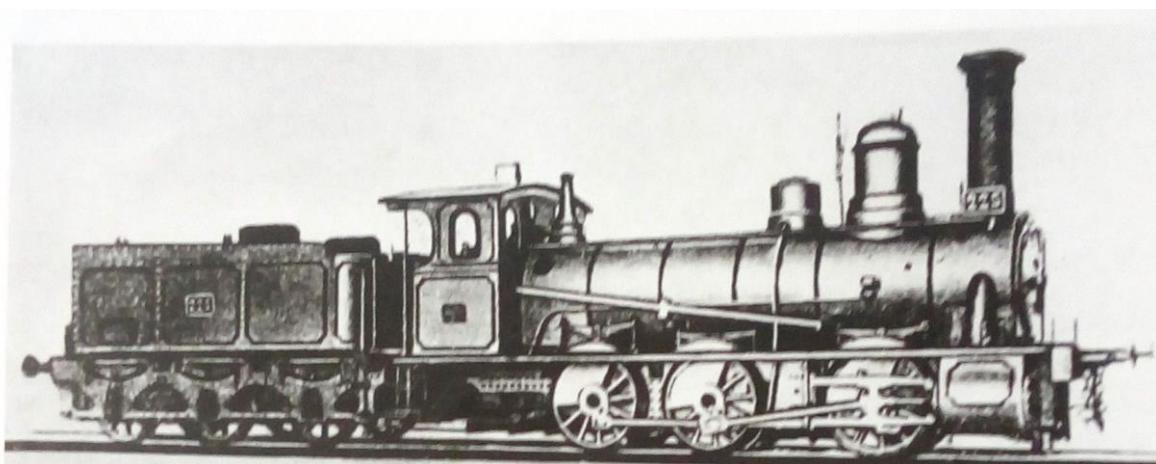
К 1861 году сформировался обширный «Мальцовский округ», в него входило 107 фабрик и заводов с огромной площадью земли – 238 тысяч десятин (часть Калужской, Смоленской, Брянской и Орловской губерний). В этом округе были сосредоточены все необходимые сырьевые ресурсы.

В 1841 году из Людинова пошли первые русские рельсы для строительства Николаевской железной дороги.



Один из первых паровозов Людиновского завода, 1871 год

Первые узкоколейные товарные паровозы были изготовлены на Людиновском заводе в 1870 году. К 1879 году паровозы производства Людиновского завода работали на разных железных дорогах.



Мальцовский паровоз типа 0-3-0 Сызрано-Вяземской железной дороги

Основной продукцией завода в начале XX века стал локомотив для

сельского хозяйства, который приводил в движение молотилки, веялки, пилорамы, насосы, компрессоры.



Всего на Людиновском заводе было изготовлено более 20 тыс. локомотивов

В 30-е годы XX века Людиновский завод являлся единственным предприятием в Советском Союзе по производству локомотивов.

Немало трудностей пришлось пережить заводу и его труженикам в годы Великой Отечественной войны. Возвращение завода после эвакуации в Людиново состоялось в сентябре 1943 года. К 1947 году Людиновский завод достиг довоенного уровня выпуска продукции.

С декабря 1957 года на заводе производились маневровые тепловозы мощностью 750 л. с. с гидромеханической передачей.

К Первوماю 1959 года был выпущен ТГМЗ, четырехосный тепловоз капотного типа с двумя тележками и с групповым приводом колесных пар, оснащенных дизелем М75Б и с гидродетандером. Тепловоз предназначался для легкой маневровой работы. С этого года завод стал называться Людиновским тепловозостроительным.



ТГМ3, выпускался с 1959 по 1967 год

В сентябре 2007 года Людиновский тепловозостроительный завод (ЛТЗ) вошел в состав холдинга «Синара-Транспортные Машины».

С 2012 года Людиновский тепловозостроительный завод серийно выпускает маневрово-вывозной двухдизельный тепловоз ТЭМ14.

Важнейшим проектом 2014 года стал выпуск тепловоза ТГ16М для железных дорог Сахалина.

Эти же авторы Елсукова М.А. и Ерохина Н.И предлагают статью о Людиновском тепловозостроительном заводе в журнале Локомотив [6].

За 60 лет на Людиновском тепловозостроительном заводе было разработано более 30 модификаций железнодорожного подвижного состава, изготовлено свыше 18 тыс. локомотивов. Котенко Л.А. в статье «Юбилей людиновских тепловозостроителей» [10] подводит итоги работы за прошедшие годы.



Маневрово-вывозной двухдизельный тепловоз ТЭМ14, серийно выпускаемый заводом с 2012 года



Магистральный двухсекционный грузовой тепловоз ТГ16М

Людиновский тепловозостроительный завод (ЛТЗ) на протяжении 60 лет является ведущим машиностроительным предприятием России по производству маневровых тепловозов. С 2007 года на ЛТЗ были созданы и произведены высокоэффективные инновационные машины: маневровые

тепловозы с электропередачей ТЭМ9, ТЭМ9ТА, ТЭМ7А, ТЭМ14, ТЭМ9Н, ТЭ8.

В 2013 году по заказу ОАО «РЖД» был изготовлен уникальный локомотив – магистральный газотурбовоз ГТ1h-002, которому было присвоено имя «Андрей Первозванный».



Магистральный газотурбовоз ГТ1h-002 – «Андрей Первозванный»

Людиновский тепловозостроительный завод устремлен в будущее и продолжает реализацию программы по выпуску инновационных локомотивов.

Новочеркасский паровозостроительный завод (НПЗ)

В годы первых пятилеток молодая Страна Советов приступила к выполнению задач по индустриализации народного хозяйства, уделяя особое внимание развитию железнодорожного транспорта. Первенцем второй пятилетки стал Новочеркасский паровозостроительный завод (НПЗ). О восьмидесятилетнем пути завода ведет рассказ Захарова Г.Т. «Новочеркасскому электровозостроительному заводу 80 лет» [8].

Строительство предприятия в Новочеркаске началось в 1932 году. Одним из первых на Новочеркасском паровозостроительном заводе стал узкоколейный паровоз (750мм) серии 159, который был выпущен в рекордно короткий срок, всего за два месяца. Он имел конструкционную скорость – 50 км/ч, осевую формулу – 0-4-0, вес без тендера – 16 т, силу тяги в номинальном режиме – 3,3 т, мощность при скорости 12,5 км/ч – 154 л. с.



Один из первых паровозов НПЗ

К концу 1936 года завод выпустил 70 паровозов узкой колеи и освоил производство мощных 3-осных тендер-паровозов со стандартной колеей с нагрузкой 18 т на ось. К маю 1941 года коллектив завода насчитывал свыше 6 тыс. квалифицированных специалистов и столько же рабочих.

В начале Великой Отечественной войны было освоено производство зенитных установок ЗУ-4 и 122-мм полевых пушек МЛ-19 и МЛ-22 («Аннушка»). Счет выпускаемых пушек исчислялся сотнями.

Осенью 1941 года завод был эвакуирован на Урал. Пережив 205 дней фашистской оккупации города и завода в феврале 1943 года, небольшой

коллектив завода поднимал из руин взорванные цеха предприятия.

Скоро завод снова стал выпускать продукцию для фронта.

Первый послевоенный отечественный паровоз был поставлен на рельсы 15 августа 1944 года.

Возрождение отечественного железнодорожного подвижного состава началось в 1945 году с создания в Новочеркасске крупного специализированного предприятия по выпуску промышленных и магистральных электровозов.

В послевоенное время осуществлялась электрификация большого числа участков железных дорог, поэтому выпускалось 200-250 электровозов в год.

Важной вехой стал выпуск партии электровозов постоянного тока типа ВЛ22М с часовой мощностью 2400 кВт и рекуперативным торможением, укомплектованных электрооборудованием (изготовленным заводом «Динамо»), механической частью (созданной Коломенским машиностроительным заводом).



Электровоз ВЛ22

К началу 1950-х годов возникла необходимость создания более мощных грузовых электровозов для горных участков электрифицированных железных дорог. В это же время было освоено производство магистральных грузовых 8-осных электровозов мощностью 4200 кВт. Работу возглавил главный конструктор НЭВЗ Б.В. Суслов.

В 1953 году на железные дороги страны ушел опытный образец электровоза Н8 (Новочеркасский 8-осный), использование которого позволило повысить провозные возможности электрифицированных участков железных дорог за счет увеличения силы тяги и скорости.

В период с 1950-го по 1955 год коллективом завода было создано 16 типов электровозов для промышленных предприятий, отличающихся по назначению, ширине колеи, питающему напряжению и другим характеристикам. Создание новых заводских корпусов, увеличение мощностей предприятия дало возможность Новочеркасским электровозостроителям выпустить первый электровоз переменного тока – грузовой ВЛ60.



Первый электровоз переменного тока – грузовой ВЛ60

Этот электровоз стал базовым для семьи 6-осных электровозов переменного тока.

НЭВЗом выпускались магистральные электровозы постоянного тока (в том числе и на экспорт) до конца 70-х – начала 80-х годов XX века.

К 1980 году Новочеркасский завод выпускал по 380 и более электровозов в год, в их число вошли ВЛ80, электровозы для Финляндии (Sr1), Польши (ET42), Китая (8G).

Событием в истории Новочеркасского электровозостроительного завода стало создание в 1983 году самого мощного в мире 12-осного электровоза ВЛ85 для вождения сверхтяжелых поездов мощностью 10000

кВт.

Интенсивное строительство Байкало-Амурской магистрали повлияло на потребность в таком локомотиве.

Впервые в отечественной практике на электровозе ВЛ85 была установлена автоматизированная система управления (АСУ), построенная на микроэлектронике, которая позволила плавно разгонять состав до требуемой скорости с заданным током тяговых электродвигателей. По сравнению с ВЛ80Р расход энергии на новом локомотиве уменьшился больше чем на треть и почти в 1,2 раза возрос ее возврат в контактную сеть при режиме рекуперации. Были улучшены условия труда локомотивной бригады.



Самый мощный в мире (на 1983 год) 12-осный электровоз ВЛ85

На базе секции электровоза ВЛ85 предприятие в 1995 году выпустило первый отечественный грузопассажирский электровоз переменного тока ВЛ65.



Первый отечественный грузопассажирский электровоз переменного тока ВЛ65

В новейшей истории коллектив предприятия серийно выпускает наряду с пассажирскими двухсистемными электровозами ЭП20 и грузовыми электровозами 2ЭС5 – семейство электровозов «Ермак» и «Дончак». За всю историю завод разработал и изготовил 67 типов локомотивов, создал более 16,5 тыс. электровозов различного назначения. Это почти половина всех эксплуатируемых в мире электровозов!

Генеральный директор ООО «Производственная компания «Новочеркасский электровозостроительный завод (НЭВЗ)» Сапунков А. Н. в статье: «НЭВЗ: 80 лет успешного развития» [17] рассказывает о создании электровоза 5-го поколения, о программе технического перевооружения и других новшествах, позволивших НЭВЗ занять лидирующие позиции в машиностроительном комплексе России в настоящее время.

Автор описывает основные этапы истории Новочеркасского электровозостроительного завода – от Паровозостроя до флагмана Российского локомотивостроения. За 80 лет на НЭВЗ было построено около 17 тысяч локомотивов более 60 типов. Созданный на НЭВЗ электроподвижной состав, обладающий высокой степенью надежности, водит составы, которые перевозят 80% всех грузов на железных дорогах России и стран ближнего зарубежья.

Развитие железнодорожного транспорта определяется техническим уровнем и качеством подвижного состава. Новые локомотивы в грузовом движении должны обеспечивать ведение тяжеловесных поездов массой до 9000 т, в пассажирском – со скоростями до 200 км/час. Для разработки

перспективных локомотивов, соответствующих мировому уровню и программе развития ОАО «РЖД» в части применения инновационного подвижного состава, было создано совместное инжиниринговое предприятие ООО «ТРТранс», объединившее лучшие технологии, знания и опыт коллективов НЭВЗ, Alstom Transport и ОАО «ВЭЛНИИ».

Новой вехой в развитии электровозостроения стал выпуск электровозов с асинхронными тяговыми двигателями ЭП20 «Олимп» и 2ЭС5 «Скиф». Эти локомотивы стали первыми в пассажирском и грузовом вариантах. Современные технологии создания этих электровозов освещаются в статье Орлова Ю.А. «Современные технологии для Новочеркасских электровозостроителей» [11].

ЭП20 «Олимп» – российский двухсистемный скоростной шестиосный пассажирский электровоз. ЭП20 задуман как головной проект масштабной программы разработки широкого ряда российских электровозов нового поколения с асинхронным тяговым приводом. Электровоз серийно выпускается на Новочеркасском электровозостроительном заводе. По состоянию на июль 2020 года выпущено 77 электровозов, все они поступили в собственность ОАО «РЖД» и работают с пассажирскими поездами.



Электровоз с асинхронными тяговыми двигателями ЭП20 «Олимп»

2ЭС5 «Скиф» – магистральный грузовой электровоз переменного тока пятого поколения, разрабатываемый совместно ЗАО «Трансмашхолдинг» и французской компанией Alstom для ОАО «Российские железные дороги».

Локомотив создан как один из элементов нового семейства российских электровозов, построенных по принципу единой базовой платформы. Унификация узлов и элементов с головным проектом – двухсистемным пассажирским электровозом ЭП20 запланирована на уровне 75%. Всего было выпущено пять электровозов, все они по состоянию на 2018 год эксплуатируются на Северо-Кавказской железной дороге.



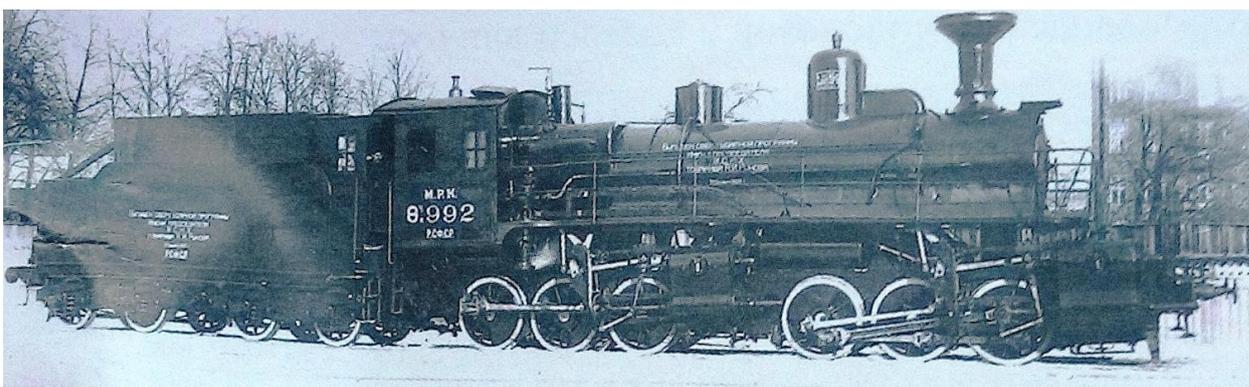
**Магистральный грузовой электровоз переменного тока пятого поколения 2ЭС5
«Скиф»**

ООО «ТРТранс», объединивший лучшие технологии, знания и опыт, ведет работы над новым проектом грузового электровоза типа 2ЭС5С. Цели проекта: импортозамещение, применение инновационных решений, повышение производительности, увеличение мощности и силы тяги, увеличение пробега не менее, чем до 3000 км, снижение затрат электроэнергии на тягу до 30%.

Коломенский тепловозостроительный завод

Свое 155-летие отметил Коломенский тепловозостроительный завод в 2018 году. Предприятие, основанное в 1863 г. военным инженером А.Е. Струве, первоначально специализировалось на строительстве мостов из собственных металлоконструкций. Позднее здесь освоили производство паровозов, грузовых и пассажирских вагонов. Завод один из первых в мире освоил серийное производство дизельных двигателей для различных отраслей промышленности.

О современном флагмане отечественного транспортного машиностроения, который вырос на месте небольших временных мастерских материал в статье Иоффе А.Г. «Коломенскому заводу – 155 лет!» [9] После пуска железной дороги, связавшей Москву и Рязань, завод стал выполнять разнообразные заказы бурно развивавшегося железнодорожного транспорта, в том числе строить паровозы. К наиболее интересным локомотивам относятся сочлененные паровозы «фита» типа 0-3-0+0-3-0, которые строились вплоть до 1924 года.



Паровоз 0чк 992 (1920 г.). Фото из архива завода

У сочлененных паровозов движущие колесные пары были разделены на две группы. Задняя группа располагалась в главной раме, а передняя на поворотной тележке. Такая конструкция позволяла увеличить количество движущих осей при обеспечении удовлетворительного вписывания паровоза в кривые.

В советские годы завод сохранил свои ведущие позиции. В результате работы, проведенной конструкторами Коломенского завода под руководством К.Н. Сушкина, в 1932 году был создан совершенно новый паровоз, который стал основным пассажирским локомотивом и выпускался до 1951 года.

В 1931-1932 гг. на Коломенском заводе были созданы сверхмощные паровозы серий ФД («Феликс Дзержинский») и ИС («Иосиф Сталин»), которые затем серийно производились на Луганском (Ворошиловградском) заводе.



Грузовой паровоз Ок 3213

В 1937 году специалисты завода создали скоростной паровоз типа 2-3-2, развивавший скорость до 150 км/ч.

Коломенский завод, будучи ведущим локомотивостроительным предприятием, первым освоил серийное производство перспективных тепловозов и электровозов Эл и ВМ, их постройка была организована по полному циклу.

В 1934 году был создан пассажирский электровоз ПБ21-01 типа 2-3-2. Это был первый отечественный электровоз. На нем были применены сдвоенные тяговые двигатели с опорно-рамным подвешиванием. Конструкционная скорость была установлена 140 км/ч.

Довоенные электровозы оказались удачными. По их образцу с 1946 по 1958 год Новочеркасский завод построил 1788 электровозов серии ВЛ22М. Эти паровозы подняли провозную способность железных дорог. Скоростной паровоз типа 2-3-2 развивал скорость до 150 км/ч.

В послевоенные годы на Коломенском заводе под руководством Л.С. Лебедянского был создан целый ряд паровозов, вошедших в золотой фонд отечественного локомотивостроения.

Под руководством выдающегося конструктора Л.С. Лебедянского и академика С.П. Сыромятникова был создан паровоз серии П («Победа») типа 1-5-0, который после 1947 года получил обозначение Л, «Лебедянка». Один из лучших и массовых советских паровозов (выпущено более 4000 машин), который эксплуатировался по всей сети железных дорог Советского Союза. Его конструкторы-разработчики награждены Сталинской премией.



Пассажирский электровоз ПБ21-01



Паровоз серии Л (до 1947 года – П – «Победа»; после 1947-го Л – «Лебедянка»)

Грузовой паровоз серии П (Победа) типа 1-5-0, который в последствии получил наименование серии Л в честь главного конструктора и

пассажирский паровоз типа 2-4-2 серии ПЗ6 на долгие годы стали основными в своих классах и поныне продолжают работать в составе ретро-поездов.



Паровоз ПЗ6-0251 – последний паровоз, выпущенный Коломенским заводом в 1956 г.

Когда встала задача создания паровозов, способных значительно повысить массу грузовых поездов на Коломенском заводе паровозостроители вернулись к теме сочлененных паровозов. Паровоз серии РЗ4 (1948 г.) имел осевую формулу 1-3-0+0-3-1, а паровоз серии ПЗ8 (1954 и 1956 гг.) – 1-4-0+0-4-2. В 1956 году Коломенский завод выпустил свой последний паровоз ПЗ6-0251, имевший заводской номер 10420. Этот номер указывает общее количество построенных на заводе паровозов.

В 1958 году на Коломенском заводе был построен опытный грузовой односекционный двухкабинный тепловоз с дизелем мощностью 3000 л. с. а в 1960 году – пассажирский тепловоз ТЭП60 с такой же мощностью с конструкционной скоростью 160 км/ч.

ТЭП60 – пассажирский шестиосный тепловоз с электрической передачей постоянного тока, производился на Коломенском тепловозостроительном заводе с 1960 по 1987 годы. Выпускался в двух вариантах – односекционном и двухсекционном. Всего был построен 1241 односекционный тепловоз ТЭП60 и 116 двухсекционных 2ТЭП60. В период 1970–1980-х годов тепловозы ТЭП60 были основными пассажирскими тепловозами на железных дорогах СССР.



Пассажирский тепловоз ТЭП60 односекционный

Локомотив имел двухступенчатое рессорное подвешивание и опорно-рамное подвешивание тяговых двигателей. Благодаря этому он обладал плавностью хода. На этом тепловозе было применено новое конструктивное решение охлаждающего устройства. Водяная система имела два контура («горячий» и «холодный»), а вентиляторы были оснащены гидростатическим приводом с автоматически плавным бесступенчатым регулированием частоты вращения. Были также построены два опытных пассажирских тепловоза с гидропередачей ТГП50.

В конце 50-х годов XX века более перспективными казались газотурбовозы и главный конструктор Л.С. Лебединский с энтузиазмом воспринял это направление. Был построен опытный газотурбовоз Г1-01, с газовой турбиной мощностью 3500 л. с. (2574 кВт), затем в 1964 году два пассажирских газотурбовоза серии ГП1 такой же мощности.

В дальнейшем работы по газотурбовозам были остановлены. Завод сосредоточил усилия на производстве тепловозов и дизелей для них.

В середине 60-х годов на Коломенском заводе было создано семейство дизелей Д49 типа ЧН26/26 с числом цилиндров 8, 12, 16 и 20 мощностью от 800 до 6000 л. с. Дизели этого семейства являются основными тепловозными силовыми установками и широко применяются на пассажирских и грузовых магистральных тепловозах Коломенского, Ворошиловградского (Луганского) и Брянского заводов, на некоторых маневровых тепловозах Людиновского завода.



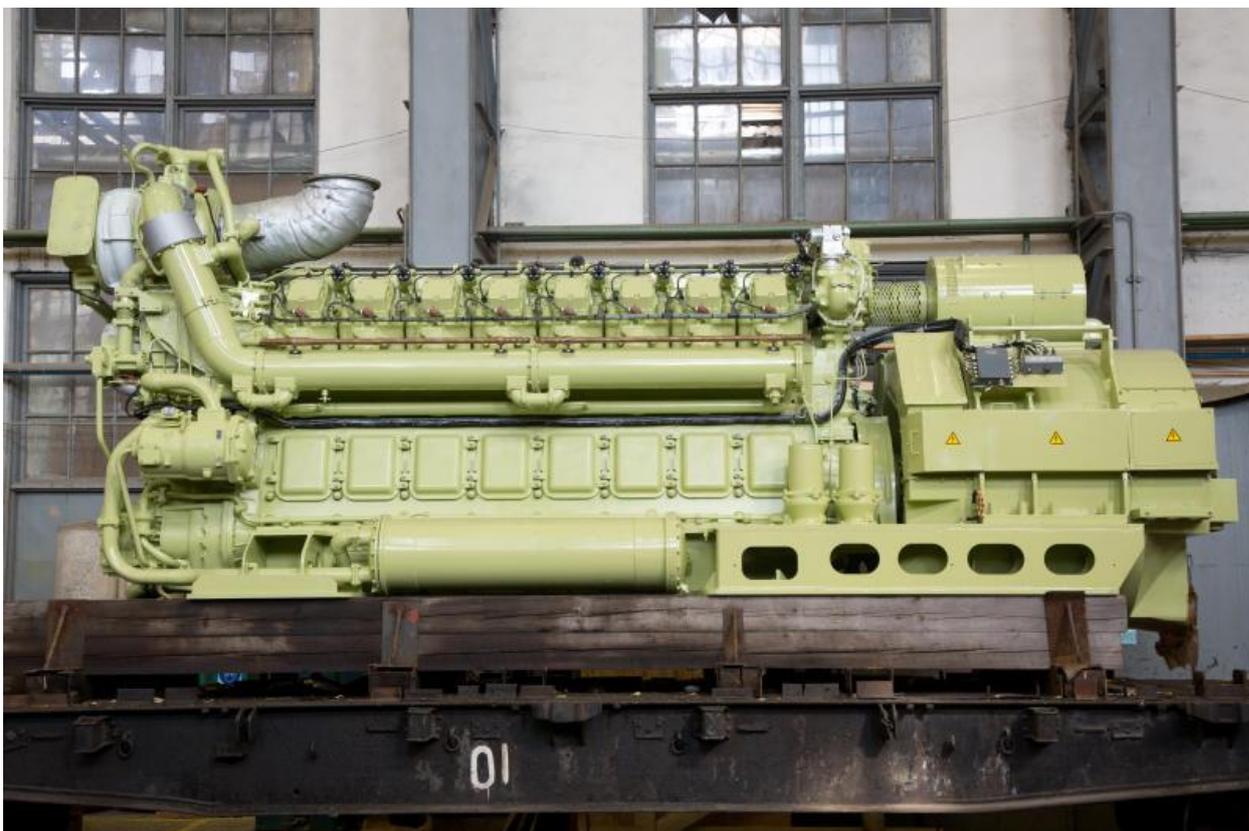
Опытный образец магистрального газотурбовоза Г1 (1959 г.)

В 1973 году был выпущен первый тепловоз серии ТЭП 70, разработанный под руководством главного конструктора по локомотивостроению Ю.В. Хлебникова. Новый локомотив был оснащен 16-цилиндровым дизелем 5Д49 мощностью 4000 л. с. В 1976 году завод выпустил два еще более мощных тепловоза ТЭП 75 с уникальными 20-цилиндровыми дизелями. Испытания тепловозов ТЭП70 и ТЭП75 выявили их слабые и сильные стороны. Тепловозы ТЭП70 и ТЭП75 постепенно заменили проверенные временем, но устаревшие тепловозы ТЭП60. В 1996 году под руководством главного конструктора по локомотивостроению А.В. Подопросветова были созданы электровозы переменного тока ЭП200 с конструкционной скоростью 200 км/ч.

В дальнейшем было принято решение развивать скоростное движение на основе моторвагонной тяги. Дальнейшие работы по тепловозам ТЭП80 и электровозам ЭП200 были прекращены.

В настоящее время в производственной программе Коломенского завода состоят пассажирские шестиосные локомотивы – усовершенствованный тепловоз ТЭП 70БС и электровоз постоянного тока ЭП2К.

Коломенский завод стал практически единственным изготовителем дизелей для магистральных тепловозов. В конструкцию дизелей постоянно вносятся усовершенствования, улучшающие показатели надежности, ремонтпригодности и экономичности локомотивов.



Дизель-генератор 1А-9ДГ исп.3, серийно выпускаемый заводом для установки на модернизируемые тепловозы типа ТЭ10М, ТЭ10У

Начиная с 2018 г. производятся дизель-генераторы 2А-9ДГ-01, предназначенные для установки на тепловозы ТЭП70БС, оснащаются электронной системой управления подачей топлива. На очереди – аналогичная модернизация наиболее массового дизель-генератора 18-9ДГ для тепловозов 2ТЭ25КМ, крупномасштабное производство которых было развернуто на Брянском машиностроительном заводе. Продолжаются испытания и доводочные работы по перспективным многоцелевым дизелям типа Д300 и Д500.

Сегодня магистральные пассажирские электровозы ЭП2К-380 становятся основными на участках, электрифицированных на постоянном токе.



Пассажирский электровоз ЭП2К-380



Тепловоз 2ТЭ25КМ

Завод «Уральские локомотивы»

Свой первый юбилей отмечает один из лидеров отечественного локомотивостроения, совместное предприятие группы «Синара» и компании Siemens – «Уральские локомотивы». Вот уже 10 лет завод серийно выпускает подвижной состав нового поколения – грузовые электровозы, отличающиеся повышенной эффективностью работы, и скоростные пассажирские электропоезда «Ласточка», известные на железных дорогах более чем в 20 регионах России. В статье Юлии Чернышевой «Уральские локомотивы»: 10 лет в пути» [19] вспоминаются самые яркие проекты уральского предприятия.

ООО «Уральские локомотивы» – совместное предприятие Группы Синара и концерна Сименс АГ, созданное в 2010 году с целью партнерства в области железнодорожного машиностроения.

Завод специализируется на проектировании и производстве грузовых электровозов, пассажирских электропоездов «Ласточка», отличающихся повышенной экономичностью, высокими потребительскими, эксплуатационными и экологическими характеристиками.

Производственный комплекс завода оснащен самым современным технологическим оборудованием, обеспечивающим высокий уровень организации производства.

Первый опытный образец 2ЭС6 был представлен 1 декабря 2006 года. Еще до создания совместного предприятия на производственной площадке в Верхней Пышме (Свердловская область) было принято решение сначала модернизировать советские электровозы ВЛ11, а потом спроектировать и начать производить первый отечественный локомотив постоянного тока нового поколения – 2ЭС6 «Синара». За более чем 12 лет серийной эксплуатации «Синара» зарекомендовала себя как современный, надежный, мощный электровоз, удобный в управлении и обслуживании. Локомотив успешно водит составы до 8 тыс. т на Свердловской, Западно-Сибирской, Южно-Уральской, Октябрьской и Куйбышевской железных дорогах.

Из года в год растет потребность в этих электровозах, увеличиваются производственные планы завода по их выпуску. Так, в 2019-м г. было изготовлено рекордное количество – 155 локомотивов (310 секций).

В конце января 2020 года на «Уральских локомотивах» состоялась передача тысячного электровоза 2ЭС6 «Синара» российским железным дорогам. По сравнению с локомотивами на постоянном токе старых серий электровоз 2ЭС6 энергоэффективнее примерно на 7%.

При этом работа над усовершенствованием 2ЭС6 продолжается. Не так давно была выпущена бустерная секция для электровоза «Синара», увеличивающая производительность локомотива на 25%, то есть грузоподъемность возрастет до 10 тыс. т. Электровоз с бустерной секцией должен появиться в эксплуатации в IV квартале 2020 года.



Электровоз 2ЭС6 «Синара»

Грузовой магистральный электровоз 2ЭС10 «Гранит» с асинхронным приводом стал первым совместным проектом группы «Синара» и концерна Siemens, результатом российско-немецкого партнерства. Опытный образец 2ЭС10 был создан уже в ноябре 2010 года.

Актуальность появления нового локомотива была вызвана необходимостью пополнить грузовой парк РЖД мощными электровозами с меньшими затратами в эксплуатации. Применение локомотивов «Гранит» позволило увеличить пропускную способность, снизив при этом эксплуатационные расходы на содержание парка. В 2018 году «Гранит» установил рекорд, совершив поездку с весом состава 12 тыс. т по участку Октябрьской железной дороги.

К июню 2020-го заводом выпущено 169 «Гранитов». Сейчас на электровозы этой серии, после прохождения испытаний, планируется устанавливать новую унифицированную кабину, что обеспечит снижение себестоимости и повышение эффективности производства разных серий электровозов.

По итогам I квартала 2020 года электровозы «Гранит» заняли первое место в рейтинге новых локомотивов, сформированном проектно-конструкторским бюро Дирекции тяги ОАО «РЖД».

В частности, за первые 3 месяца 2021 года «Граниты» показали высокий уровень коэффициента готовности – он составил 0,997 при заданном в технических условиях значении 0,96. Показатель удельного количества отказов «десяток» на 1 млн км пробега снизился на 60% по сравнению с аналогичным периодом 2019 года. Также на 52% сократилось

среднемесячное количество заходов электровозов в ремонт, а время их простоя – почти в 2 раза.



Электровоз постоянного тока 2ЭС10 «Гранит»

Первый магистральный грузовой электровоз переменного тока 2ЭС7 был выпущен на заводе «Уральские локомотивы» в 2013 году. Необходимость его появления была обусловлена потребностью обеспечить электровозами нового поколения железнодорожные участки, электрифицированные переменным током, со сложным профилем и высокой грузонапряженностью.

Применение асинхронного тягового двигателя позволяет электровозу использовать высокую силу тяги и водить составы весом до 9 тыс. т, при этом максимальная мощность машины достигает 8,8 МВт. Конструкция электровоза предусматривает его работу по системе многих единиц. Для вождения сверхтяжелых грузов может применяться сцепка из трех или четырех секций электровоза с настройкой управления из любой кабины машиниста. Предусмотрена возможность автономной работы четырехосной секции.

Электровоз эффективно использует электроэнергию – удельный расход снижен на 15-20% по сравнению с электровозами с коллекторным приводом, рекуперативное торможение применяется на всем промежутке скорости. Межремонтные пробеги увеличены в 5 раз по сравнению с электровозами с коллекторными тяговыми двигателями, а техобслуживание этой машине необходимо проходить только раз в месяц, при этом на сервис тратится минимум времени и ресурсов.



Двухсекционный электровоз переменного тока 2ЭС7

Завод «Уральские локомотивы» первым в стране выпустил скоростной электропоезд для пассажирских перевозок. Вот уже 6 лет «Ласточки» эксплуатируются во многих регионах России. Это и пригородные электрички, и городские поезда на линиях МЦК и МЦД, и межрегиональные экспрессы.

Срок службы поезда составляет 40 лет, и он идеально подходит под различные климатические условия России: устойчив к суровым холодам, жаре и влажному морскому климату, приспособлен к работе в температурном режиме от минус 40 до плюс 40 градусов.

Уральские электропоезда относятся к новому поколению облегченных модульных составов, развивающих скорость до 160 км/ч. Оборудованные интеллектуальными системами управления и видеонаблюдения, а также системой, поддерживающей микроклимат в салоне и очищающей воздух. «Ласточки» оправдали ожидания пассажиров по комфорту и безопасности. Благодаря российским разработкам электропоезда позволяют формировать составы от 3 до 12 вагонов в соответствии с условиями эксплуатации и пожеланиями заказчика.

В настоящее время «Ласточки» активно используются на территориях с высоким пассажиропотоком, но скорость и комфорт постепенно приходят и в другие регионы. В городах, где пока нет скоростного сообщения, 47% предпочли бы сэкономить время и доплатить за билет на быстрый поезд. В связи с этим перед конструкторами «Уральских локомотивов» сейчас стоит

задача сохранить все преимущественные технические характеристики скоростного электропоезда, но сконструировать такую модификацию «Ласточки», которая будет экономически эффективна для региональных перевозчиков.



Скоростной электропоезд «Ласточка»

Еще одно направление для развития проекта скоростных поездов – это беспилотные технологии вождения. В прошлом году завод «Уральские локомотивы» выполнил контракт с ОАО «РЖД» на установку дополнительного оборудования систем автоведения в скоростных электропоездах «Ласточка», курсирующих по МЦК. Также с лета прошлого года на МЦК проходит опытные испытания уральская «Ласточка» со встроенной системой машинного зрения. Обозначенные проекты – это подготовительный этап в рамках глобального проекта по внедрению беспилотной системы управления. На отдельных участках уральские поезда уже курсируют по заданным маршрутам и графикам, а компьютеры следят за системой торможения и тяги, обеспечивая прибытие на станцию точно к заданному времени. Обладая прекрасным технологическим потенциалом, самым современным оборудованием и наработав хороший опыт в проектировании и производстве скоростных электропоездов, специалисты «Уральских локомотивов» готовы приступить к реализации новых проектов – созданию двухэтажных поездов и составов для ВСМ.

Альтернативы дизельным локомотивам (за рубежом)

В связи с мировой тенденцией по снижению вредных выбросов в атмосферу в разных странах ищут альтернативы дизельным локомотивам. Из наиболее перспективных направлений применения в качестве моторного топлива представляют интерес природный газ и водородное топливо.

Перевод значительной части транспортных средств на газовое топливо – одно из важнейших направлений Энергетической стратегии России, которая предусматривает стимулирование использования природного газа в качестве моторного топлива и развитие переработки газа в жидкое топливо. По словам Президента России В.В. Путина, вопрос о расширении использования газа в качестве моторного топлива касается эффективности применения энергоресурсов, удешевления транспортных перевозок и улучшения экологической ситуации.

Вопросы использования природного газа в разных странах поднимает П.А. Полин в статье «Мировые тенденции применения природного газа на локомотивах» [13].

В США компанией «Caterpillar» разработаны две технологии для работы дизелей EMD 710 на сжиженном природном газе (LNG).



Тепловоз EMD SD70ACe с дизелем EMD 710

Первая технология основана на динамическом смешивании газа (DGB), вторая – на непосредственном впрыске газа (DIG).

Технология DGB позволяет заместить природным газом более 60% потребляемого дизельного топлива. Газовоздушная смесь попадает в цилиндр, где происходит ее сжатие. Перед достижением верхней точки хода поршня через инжектор поступает дизельное топливо, воспламенение которого инициирует горение природного газа. Данная технология обеспечивает поддержание уровня мощности и технических характеристик в переходных режимах, а также надежности дизельных двигателей, сохранение на прежнем уровне интервалов технического обслуживания как у обычных тепловозов.

Технология DIG предполагает подачу природного газа в двигатель на стадии сжатия. Тем самым устраняется проблема чрезмерно раннего самовоспламенения топлива, что дает возможность двигателю работать так же, как и при использовании дизельного топлива. Поскольку при подаче природного газа необходимо преодолеть давление в цилиндре, а впрыск должен быть произведен в течение короткого промежутка времени, то газ поступает под высоким давлением с помощью специального инжектора. Для воспламенения смеси требуется небольшое количество дизельного топлива (5% объема смеси).

Компания «Union Pacific» (США) оценивает сжиженный природный газ как потенциальное топливо для локомотивов, обеспечивающее безопасность, энергоэффективность и экологичность.

Газотурбовоз представляет собой автономный локомотив с газотурбинной энергетической установкой (ГТУ). Существуют различные типы газотурбовозов. Основное их различие заключается в типе передачи и виде используемого топлива (мазут, сырая нефть, газ, кокс и т.п.) Можно выделить два основных типа передачи – электрическая и механическая.

Газовая турбина имеет целый ряд преимуществ перед дизельными двигателями. Небольшое количество подвижных частей уменьшает потребность в большом количестве смазки, упрощает техническое обслуживание и его стоимость, увеличивает срок службы локомотива по сравнению с тепловозами. Также турбина физически меньше аналогичного по мощности дизеля. Серьезными недостатками ГТУ являются низкий КПД на холостом ходу и при неполной нагрузке, высокая температура выхлопных газов (что сильно ограничивает их эксплуатацию на электрифицированных участках железных дорог), высокий уровень шума, издаваемый турбиной, отсутствие пунктов дозаправки.

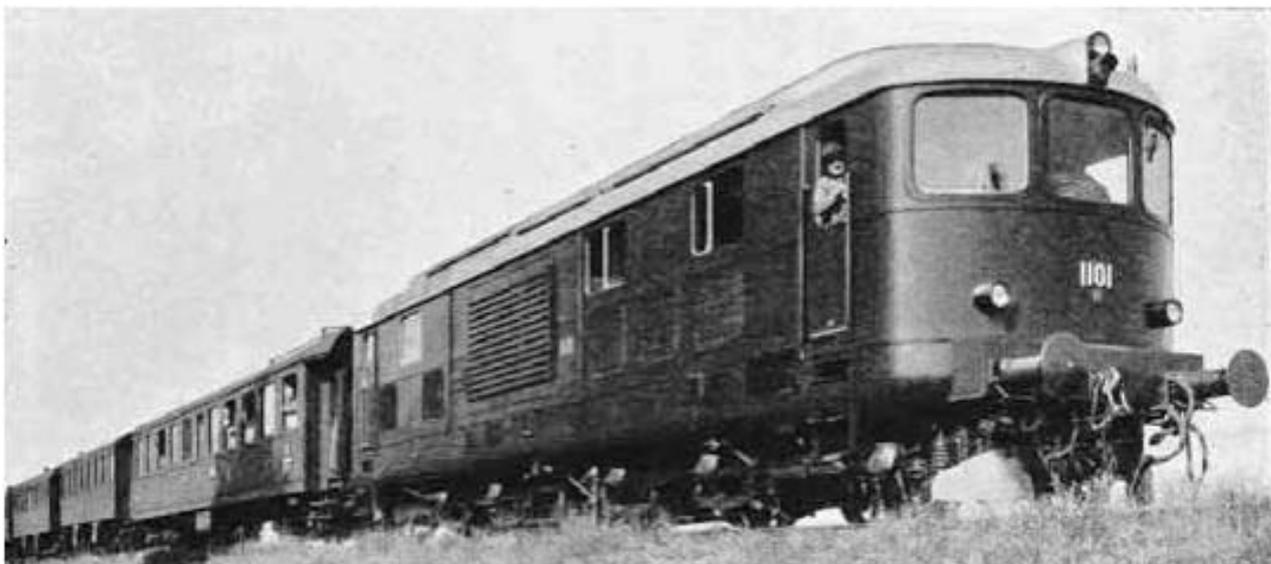
Развитию газотурбинной тяги, проектированию и постройке газотурбовозов в разных странах мира посвящена статья Воронова Я.Д. «История и перспективы развития газотурбинной тяги» [4].

Газотурбовоз был запатентован в 1861 г. Марком Антуаном Франсуа Меннонсом (британский патент № 1633). Чертежи в патенте изображают локомотив типа 0-4-2, представляющий собой колесное устройство с цилиндрическим кожухом, напоминающим котел.

Его конструкция включает в себя основные характеристики газотурбинных локомотивов, построенных в XX веке, в том числе

компрессор, камеру сгорания, турбину и воздухонагнетатель. Работы, приведшие к постройке газотурбовоза, начались во Франции и Швеции в 1920-х годах, однако первый локомотив появился только в 1938 г.

В 1938 г. швейцарским заводом Brown Boveri был построен первый в мире газотурбовоз Am 4/6 1101.



Газотурбовоз Am 4/6 1101

Он также был первым в мире газотурбовозом с электрической передачей. Локомотив был разработан для вождения легких скорых пассажирских поездов на маршрутах, где электрификация была нецелесообразна.

В 1948 г. американской компанией Alco-GE был построен опытный образец газотурбовоза, работающего на мазуте. После демонстрационных испытаний он был приобретен компанией Union Pacific (UP), которая искала альтернативу дизельному топливу.

Несмотря на очень большой расход топлива, газотурбовозы, работающие на мазуте, были рентабельны благодаря дешевизне мазута.

В 1940-х и 1950-х годах в США и в Великобритании были проведены исследования, направленные на создание газотурбинных локомотивов, работающих на рассыпном угле. Главной проблемой здесь являлась эрозия лопаток турбины частицами золы.

В 1946 г. корпорации Northrop и Joshua Hendy Iron Works предприняли попытку адаптировать турбодинамический авиадвигатель Northrop для использования его в локомотивах. В качестве топлива предполагалось использовать угольную пыль.

Компания Union Pacific возродила идею использования угля в качестве топлива. В 1962 г. ею был построен прототип угольного газотурбовоза.

В 1952 г. компанией Renault был построен газотурбовоз с механической передачей Class 040-GA-1, ставший первым газотурбовозом с

таким типом передачи. Локомотив имел мощность 1000 л.с. Газотурбовоз использовал свободнопоршневой двигатель Pescara в качестве газогенератора. Позднее были выпущены еще два таких локомотива. Они имели мощность 2400 л.с.



Экспериментальный газотурбовоз 1-Б-1

В 1958 г. был закончен первый прототип чехословацкого газотурбовоза Skoda TL 659.001. Первые его испытания были проведены в марте 1959 г.

В 1961 г. английской компанией The English Electric Company Limited в качестве демонстрационного экземпляра был построен газотурбовоз с механической передачей British Rail GT3.

В 1967 г. Французские железные дороги (SNCF) переоборудовали двухвагонный дизель-поезд Class X 4300.

В прицепном вагоне был установлен газотурбинный двигатель. Головной вагон был оборудован новой кабиной, но сохранил дизельный двигатель и трансмиссию. Экспериментальный газотурбинный поезд получил название TGS. 15 октября 1971 г. он развил скорость 252 км/ч.

В 1968 г. в Канаде началась эксплуатация турбореактивного поезда UAC Turbo Train. Он работал на маршруте Торонто-Монреаль до 1982 г., после он был заменен на дизель-поезд.



Газотурбинно-электрический локомотив, сохранившийся в железнодорожном музее
Иллинойса



Газотурбовоз с механической передачей British Rail GT3

В конце 1969 г. французской компанией Alstom был построен экспериментальный газотурбинный поезд TGV001. Первые его испытания были проведены в 1972 г. В процессе испытаний он совершил пробег в 498 тыс. км, во время которых, им был установлен рекорд скорости для газотурбинных поездов в 318 км/ч.



Экспериментальный газотурбинный поезд TGV001



JetTrain – американский турбопоезд

В 1997 г. по заказу FRA компанией Bombardier на заводе в Платтсбурге была начата постройка прототипа JetTrain, которая была завершена в 2000 г. В процессе испытаний локомотив достиг скорости 251 км/ч.

Решение об использовании сжиженного природного газа для пассажирских перевозок приняли железные дороги Индии (IR). В планах перевод всего парка локомотивов на двойное питание дизельным топливом и сжиженным природным газом (LNG). Ожидается сокращение потребления дизельного топлива на 20%. Индийские железные дороги разработали программу, согласно которой должны быть переоборудованы новые и эксплуатируемые моторные вагоны дизель-поездов для использования двух видов топлива. Использование сжатого природного газа (CHG) как альтернатива топливу также было исследовано на дизелях для дизель-поездов. Использование LNG экономически более целесообразно.

Предпринимаемые усилия помогут Индии в стремлении сократить объем вредных выбросов в атмосферу.

Министерство энергетики и минеральных ресурсов Индонезии широко поддерживают переход топлива для транспорта от нефтяного к газовому топливу.

Национальный оператор железных дорог Испании «Renfe» планирует заменить один из двух дизелей на двухвагонном дизеле-поезде серии 2600, двигателем, работающем на LNG, сравнить характеристики в процессе эксплуатации. Предполагается, что применение LNG позволит снизить уровень вредных выбросов и сократить затраты на топливо. В связи с чем, использование сжиженного природного газа на дизель-поездах может стать альтернативой электрификации на отдельных участках.

В железнодорожной отрасли имеются немалые резервы для дальнейшего сокращения выбросов соединений углерода, прежде всего за счет отказа от использования дизельных двигателей в пользу альтернативных решений, позволяющих наносить меньший ущерб окружающей среде.

Норвежская администрация железных дорог Jernbanedirektoratet опубликовала результаты своих исследований. На основании проведенного анализа был сделан вывод, что выборочная электрификация является наиболее целесообразным решением для будущей транспортной политики страны.

Французская компания Alstom, представила электрический поезд Coradia iLint, которые не производят абсолютно никаких вредных выбросов в окружающую среду и имеет умную энергетическую систему, позволяющую ему расходовать энергию запаса топлива максимально эффективным способом.

Основой конструкции поезда Coradia iLint является поезд Coradia Lint 54 с дизельным двигателем, способный перевозить до 300 пассажиров, 150 из которых располагаются на сидячих местах. Поезд Coradia iLint может развивать максимальную скорость до 140 км/ч, а все его остальные динамические характеристики, влияющие на плавность хода и комфортность поездки, не отличаются от характеристик дизельного поезда Coradia Lint 54.

Одним из основных отличий электрического варианта от дизельного является крайне низкий уровень шума, издаваемого поездом при движении даже на максимальной скорости.

Источником энергии поезда Coradia iLint являются топливные элементы, которые сжигают водород из топливных баков, смешивая его с кислородом из атмосферы. Единственными побочными продуктами топливных элементов являются водяной пар и жидкая вода. Энергия от топливных элементов накапливается в литий-ионных аккумуляторах, куда еще поступает энергия от регенеративной системы торможения. «Умная» система управления постоянно перераспределяет потоки энергии, подаваемой на различные системы поезда, что обеспечивает поезду дальность поездки от 600 до 800 километров на одной заправке водородным топливом.



Поезд Coradia iLint

Отечественные разработки газотурбовозов

В нашей стране также предпринимались попытки создания газотурбовозов. Ученые и конструкторы опирались как на зарубежный опыт, так и на свои собственные разработки.

В 1956 г. Луганским тепловозостроительным заводом был разработан проект шестиосного двухсекционного газотурбовоза с электрической передачей постоянного тока. Это был единственный локомотив в СССР со свободнопоршневыми генераторами. Данная технология позволила получить высокую динамичность силовой установки. В качестве силовой установки на нем была применена пятиступенчатая газовая турбина с двусторонним оборотом энергии. Турбина была изготовлена на Брянском машиностроительном заводе.

Конструкционная скорость газотурбовоза составляла 100 км/ч, масса локомотива – 138 т, что выходило за рамки проекта. Для уменьшения веса локомотива проект был переработан. В результате на смену электрической передаче было решено выбрать гидравлическую. Вес локомотива с гидравлической передачей составил 126 т, с практической мощностью 4500 л.с.

На Коломенском заводе под руководством главного конструктора Л.С. Лебедянского и ведущего конструктора Р.И. Шарговского в это же время началось проектирование двухсекционного газотурбовоза с секционной мощностью 3500 л.с.

В 1956 г. началось изготовление газотурбинной установки, которая была готова в декабре 1957 г. Установка получила название ГТУ-1.

Затем была создана установка ГТУ-2, создававшаяся с учетом опыта работы первой установки.

В Советском Союзе в 1959 году был создан опытный образец магистрального газотурбовоза Г1.

В 1959 г. после получения генераторов, изготовленных Харьковским заводом «Электротяжмаш», начались испытания ГТУ-2, которые выявили ряд ее недостатков, в результате чего конструкция была подвергнута изменениям. Заводом был построен новый тип установки ГТУ-3.

В конце 1959 г. Коломенский завод изготовил одну секцию грузового газотурбовоза, получившего обозначение Г1.

В ходе опытной эксплуатации газотурбовоза Г1 были выявлены недостатки, такие как высокий расход топлива, ненадежность работы узлов и т.д.

Главным отличием газотурбовоза ГМП1 была механическая передача. Проектная мощность ГМП1 составляла 6000 л.с.

В 1966 г. МПС прекратило финансирование проектов, связанных с газотурбовозами.



Газотурбовоз Г1

К вопросу применения газотурбинной тяги на железнодорожном транспорте в России вернулись в начале 2000-х годов.

На базе кузова и экипажной части электровоза ВЛ15 в 2007 г. был изготовлен опытный образец газотурбовоза ГТ1-001. Сборка локомотива была выполнена на Воронежском тепловозостроительном заводе. Газотурбовоз ГТ1 на 90 % состоял из отечественных комплектующих. Локомотив состоял из двух секций.

4 июля 2008 г. газотурбовоз ГТ1-001 провел свой первый грузовой состав весом 3 тыс. т.; показатели выбросов вредных веществ оказались в два раза ниже европейских норм.

Локомотив состоял из двух секций (тяговой и бустерной). На тяговой секции было сосредоточено все оборудование локомотива: силовая установка, компрессоры, преобразователи и т.д. Вторая секция (бустерная) являлась хранилищем топлива (сжатого природного газа). На ней было смонтировано 48 баллонов, вмещавших в себя примерно 3 тыс. кг метана. Этого запаса топлива должно было хватать на 7 дней работы локомотива в маневровом режиме.

В апреле 2012 г. на газотурбовозе ГТ1-001 была установлена мощная аккумуляторная батарея. Это позволило выполнять работу в маневровом режиме, не используя газовую турбину, что позволило значительно экономить запас сжиженного газа. После модернизации газотурбовоз получил в обозначении серии литеру «h», что означало гибридный. В процессе опытной эксплуатации газотурбовоза ГТ1h-001 были внедрены

технические решения, позволившие снизить расход топлива на холостом ходу на 25 % и сократить время запуска турбины с 40 до 6 минут.



Газотурбовоз GT1-001

Опытный образец маневрового газотурбовоза ТГЭМ10, работающего на сжатом природном газе Людиновским заводом был выпущен в 2008 году.

Локомотив был построен на Людиновском тепловозостроительном заводе на базе экипажной части маневрового тепловоза ТЭМ7А. Газотурбовоз GT1h-002 имеет измененный кузов, внешне похожий на электровоз 2ЭС6. Силовая и электрическая часть не претерпели серьезных изменений.

На газотурбовозе была применена совершенно новая криогенная секция, конструкция которой позволяла заменять контейнер со сжиженным природным газом, что сильно уменьшило время экипировки газотурбовоза. Также был увеличен объем хранимого топлива с 17 до 20 т. Тем самым удалось увеличить запас хода с 750 до 1000 км. По сравнению с тепловозами экономия затрат стоимости жизненного цикла у GT1h составляет 19,4 %, а экономия затрат на топливо – 34,9 %.

В 2013 г. был создан второй локомотив серии GT1h-002.



Маневровый газотурбовоз ТГЭМ10



Локомотив серии ГТ1h-002

Ведущие производители подвижного состава и научно-исследовательские институты намерены осуществлять совместную деятельность по разработке и совершенствованию конструкции газотурбовоза, развитию инфраструктуры сервисного обслуживания газомоторных локомотивов и подготовке нормативно-правовой базы.

30 августа 2019 г. ОАО «РЖД» и ПАО «Газпром» подписали протокол о намерениях использования СПГ (сжиженный природный газ) в качестве топлива на железнодорожном транспорте. На первом этапе (2020-2022 гг.) планируется организация вождения поездов массой до 9 тыс. т протяженностью 222 км. Позднее (в 2023-2025 гг.) планируется расширить полигон эксплуатации до 1097 км. После завершения строительства Северного широтного хода, который соединит Свердловскую и Северную железные дороги, протяженность полигона эксплуатации газотурбовозов увеличить до 5500 км.

Заведующий лабораторией систем управления газовых локомотивов отдела тяговых и вспомогательных статических преобразователей Грачев Н.В. в статье «Анализ мероприятий по повышению энергоэффективности газотурбовозов» [5] сравнивает показатели энергоэффективности работы локомотивов, работающих на сжиженном природном газе (СПГ), газотурбовозов серии ГТ1h. Представлены результаты анализа типовых диаграмм тяговой работы при вождении поездов газотурбовозом на участке Сургут-Войновка Свердловской железной дороги. Предложены мероприятия, позволяющие снизить удельный расход топлива, используемого на тягу поездов, для различных режимов работы газотурбовоза (режима тяги, холостого хода, переходных режимов). Проведен сравнительный анализ испытаний и дана экономическая оценка эффективности выбранных мероприятий при работе газотурбовоза в режимах холостого хода и тяги. Представлена экономическая оценка внедрения комплекса предложенных мероприятий по повышению энергоэффективности газотурбовозов. Представлены таблицы расхода топлива при работе на холостом ходу в штатном режиме и при работе на холостом ходу в улучшенном режиме. Анализ полученных данных по расходу топлива показал, что при работе на холостом ходу в улучшенном режиме (с частотой вращения вала силовой турбины 2700 об/мин) расход топлива в среднем составляет 400 кг/ч, что на 200 кг/ч меньше, чем при работе на холостом ходу в штатном режиме (5000 об/мин).

Перевод значительной части транспортных средств на газовое топливо – одно из важных направлений Энергетической стратегии России, которая предусматривает стимулирование использования природного газа в качестве топлива и развитие переработки газа в жидкое моторное топливо, заменить дизельное топливо сжиженным природным газом, снизить эксплуатационные расходы на топливно-энергетические ресурсы и смазочные материалы (до 44 %); улучшить экологические показатели по выбросам вредных веществ в атмосферу по сравнению с тепловозами, количество вредных выбросов должно уменьшиться в 10 раз; повысить вес поездов на рассматриваемых

полигонах до 10-15 тыс. т; создать новые рабочие места; улучшить условия труда работников железнодорожного транспорта; внедрить передовые технологии; способствовать освоению новых природных ресурсов и северных территорий России.....

Эксплуатация газотурбовозов на неэлектрифицированных участках железных дорог России позволит решить задачи, поставленные в Энергетической стратегии России и ОАО «РЖД».

В России разрабатываются проекты различных типов подвижного состава на водородном топливе.

В отличие от дизельных двигателей при работе поездов на водородном топливе образуется только водяной пар. Благодаря этому обеспечивается минимальное выделение тепла и низкий уровень выбросов парниковых газов даже с учетом всего цикла производства водорода.

Водород, получаемый из воды с использованием возобновляемых источников, например, гидро- или солнечной энергетики, считается лучшим из альтернативных видов топлива с экологической точки зрения. Такой «зеленый» водород предпочтительнее «серого», вырабатываемого путем переработки ископаемого топлива, или «голубого», добываемого из природного газа.

Топливные элементы непосредственно преобразуют химическую энергию в электрическую. Между электродами (анод для водорода и катод для кислорода) находится электролит, который разделяет образующиеся в процессе химической реакции, ионы и свободные электроны.

Молекулы водорода поступают на анод и реагируют с его каталитическим покрытием, высвобождая электроны с образованием положительно заряженного иона. Поскольку электролит непроницаем для электронов, но проницаем для ионов, последние достигают катода, а электроны остаются на аноде. Таким образом, возникает разность потенциалов, в результате чего, по подключенной к топливному элементу цепи протекает электрический ток. На катоде ионы водорода воссоединяются со свободными электронами и реагируют с кислородом воздуха, при этом образуется водяной пар.

На крыше одного из вагонов поезда установят легкие баллоны для хранения сжатого водорода. Батареи топливных элементов с протонообменной мембраной также будут расположены на крыше.

Для согласования напряжений в цепях топливных элементов и аккумуляторов предполагается применить статические преобразователи постоянного напряжения.

Первый метод по существу аналогичен процессу фотосинтеза. В солнечные батареи добавляются специальные наночастицы, отделяющие водород от воды в присутствии солнечного света. У такого подхода два важных преимущества. Во-первых, эта технология не требует значительных расходов, а во-вторых, она позволяет не тратить ценный ресурс – чистую пресную воду, так как в качестве сырья можно использовать и морскую, и загрязненную сточную воду.

Второй метод – это электролиз с использованием недорогих катализаторов, например, шпинелей (смешанных оксидов магния и алюминия). Электролиз – известный способ извлечения водорода из воды путем пропуска через нее тока, что вызывает химические реакции, в результате которых выделяются водород и кислород. Затем газы разделяют мембраной. Однако реакция протекает относительно медленно, что снижает энергоэффективность процесса.

Электрохимическая реакция, происходящая в таком аккумуляторе, может обеспечить достижение повышенной выходной мощности, быстроту зарядки и достаточно длительный срок службы.

В настоящее время все больше фактов свидетельствуют о том, что сочетание выборочной электрификации и использования достижений в области совершенствования автономных источников питания позволит найти оптимальное решение проблемы снижения вредных выбросов на железных дорогах.

Использование поездов, работающих на водородном и биодизельном топливе, представляет собой наиболее привлекательное решение. При этом обеспечивается практически нулевой уровень выбросов соединений углерода в месте эксплуатации поездов. Однако суммарный экологический эффект от электрификации определяется на основе баланса использования различных источников для выработки электроэнергии. Следует также оценить экономические и экологические аспекты производства, хранения и транспортировки водорода и биодизельного топлива.

Эксплуатация первого поезда на водородном топливе начнется в 2024 году, а к 2030 году внутрироссийский спрос на такие составы может достичь 100 единиц. Об этом статья Плетнева С. «Водород разгонит поезда» [12], опубликованная в ежедневной транспортной газете «Гудок». Сейчас на Сахалине совместно с администрацией Сахалинской области, «Росатомом» и Трансмашхолдингом реализуется проект создания первого водородного пассажирского поезда на базе рельсового автобуса (РАЗ), подготовлены эксплуатационная и финансовая модели, разработано технико-экономическое обоснование проекта пассажирских перевозок по острову.

Современному дизельному рельсовому автобусу (РАЗ) в год нужно без малого 900 т топлива, а водородному – всего 223,4 т. Дизельный рельсовый автобус (РАЗ) выбрасывает в атмосферу 67 т парникового газа, то водородный выделяет дистиллированную воду.

В 2021-2023 годах согласно дорожной карте должно быть принято решение о разработке и создании поезда и сопутствующей инфраструктуры, которая включает выработку водорода и схему его доставки на заправочные станции. К 2024 году будет создан первый состав, а в период с 2025 по 2030 год появится 20 составов мощностью 150-160 кВт. Такой экологичный транспорт можно будет использовать в курортных зонах, в крупных городах, а также использовать в качестве маневровых локомотивов.



Современный дизельный рельсовый автобус

Совместные проекты по водородной энергетике могут появиться у РЖД с «Газпромом» на северных месторождениях. Экологичный подвижной состав поможет сохранить хрупкую природу Севера.

Возможности использования поездов, работающих на аккумуляторных батареях и топливных элементах

В последние годы рассматриваются возможности использования поездов, работающих на аккумуляторных батареях и топливных элементах, в том числе в сочетании с электрификацией отдельных участков («экономная» электрификация).

Аккумуляторы предполагается использовать также в качестве резервного источника энергии для подвижного состава, необходимо расширять применение на транспорте альтернативных источников энергии, чтобы снизить выбросы вредных веществ на неэлектрифицированных участках.

Меняющаяся ситуация на рынке способствует созданию тяговых батарей для подвижного состава, в которых используются литий-ионные аккумуляторы нового типа – литий-титанат-оксидные. В предлагаемой статье «Тяговые аккумуляторы для рельсового транспорта» [18] приводятся сведения, о применяемых в настоящее время на рельсовом транспорте, современных литий-ионных батареях. Основные параметры литий-ионных батарей делают их пригодными для использования на магистральных линиях: достаточно высокая плотность энергии, компактные размеры, небольшая масса и приемлемая стоимость.



Электropоезд Desiro ML Cityjet eco

Электропоезд Desiro ML Cityjet eco, построенный компанией Siemens для железных дорог Австрии, может работать от контактной сети и от аккумуляторов.

Для поездов междугородных и высокоскоростных сообщений аккумуляторные батареи, возможно, будут служить в качестве резервных источников для питания в аварийных ситуациях, чтобы обеспечить движение с низкой скоростью, либо для маневровых передвижений по путям депо. В настоящее время такой подвижной состав выпускается в Великобритании и Японии, блоки аккумуляторных батарей на нем размещены под полом.

Компания Saft освоила выпуск систем питания на основе литий-ионных аккумуляторов различных видов, включая литий-никель-марганец-кобальт-оксидные, суперлитий-железо-фосфатные и разработанные сравнительно недавно литий-титанат-оксидные аккумуляторы.



Литий-ионные тяговые аккумуляторные батареи компании Saft

Технология литий-титанат-оксидных батарей вполне сочетается с тенденцией к цифровизации железных дорог. Электронная система управления может предоставить информацию об эксплуатационных параметрах типичной литий-титанат-оксидной батареи на основе мониторинга состояния поезда и данных, получаемых из диагностических систем.

Забываясь о перспективе, компания Saft работает над программой создания твердотельных аккумуляторов. Их энергоемкость может быть почти в 2 раза больше по сравнению с существующими литий-ионными аккумуляторами; кроме того, они обладают улучшенными показателями безопасности. Появление твердотельных аккумуляторов позволит создавать батареи для тягового применения с меньшими размерами и большей мощностью, отличающиеся при этом меньшей стоимостью. Однако для этого, необходимо решить проблему разработки твердой альтернативы

жидким электролитам, используемым в литий-ионных аккумуляторах в настоящее время.

Согласно прогнозам, технология производства твердотельных аккумуляторов может быть освоена уже к 2030 г. До этого времени изготовители по-прежнему ориентируются на производство литий-титанат-оксидных аккумуляторов, характеризующихся значительным сроком службы и возможностью быстрой зарядки.

Автономным источником энергии для отечественного скоростного подвижного состава являются также инновационные графеновые аккумуляторы. В статье «Будущее – за графеновыми аккумуляторами» [3] рассматриваются критерии выбора аккумуляторов для моторвагонного подвижного состава. Одним из перспективных решений в области аккумуляторных батарей пассажирского транспорта может стать применение литий-ионных аккумуляторов, так как они обладают высоким коэффициентом полезного действия, безопасны, а также имеют большой ресурс циклирования и длительный срок службы. Батареи TPPL (thin plate pure lead – технология применения тонких пластин) – батареи, изготовленные по технологии тонких пластин из чистого свинца. Преимуществом применения необслуживаемых аккумуляторных батарей на пассажирском транспорте является то, что электролит находится в загущенном состоянии, поэтому исключено вытекание электролита. Снижается риск возникновения внутренних коротких замыканий.

Отмечается, чтобы повысить энергоемкость источников тока, увеличить срок службы до 20 лет, необходимо использовать токовый проводник высшего порядка (четырёхслойный графен). ГРАФЕН – вещество, сходное с углеродом по составу, но отличающееся химическим строением, точнее, строением кристаллической решетки. Он образован слоем атомов углерода толщиной в один атом. Перспективным направлением развития рынка автономных источников тока является появление инновационных графеновых аккумуляторов. Они в четыре раза мощнее, в два раза легче литий-ионных аккумуляторов, для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду разработана система утилизации источников тока.

Повышение эффективности работы железнодорожной отрасли является стратегически важной задачей для нашей страны. Безусловно, при ее решении необходимо перенимать передовой международный опыт, делать ставку на внедрение логистических и управленческих инноваций.

Заводы по производству подвижного состава для железных дорог в настоящее время используют свой научный и производственный потенциал, чтобы сделать перевозки грузов и пассажиров более рентабельными, энергосберегающими, комфортными, экологически безопасными. Современные локомотивы ориентированы на расширение полигонов вождения поездов повышенной массы и длины, комфорта и эргономики рабочего места локомотивной бригады.

Российские локомотивы сегодня

В соответствии с инвестиционной программой «Приобретение тягового подвижного состава» парк Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» в 2020 г. пополнился 570 локомотивами. Получено 238 тепловозов и 332 электровоза.

В тепловозный парк поступили инновационные грузовые локомотивы 3ТЭ25К(2М) (40 ед.) и 2ТЭ25КМ (40 ед.).



Магистральный грузовой двухсекционный тепловоз 2ТЭ25КМ

Тепловоз 2ТЭ25КМ – первый в России тепловоз на 90% собранный из комплектующих отечественного производства, считается продуктом импортозамещения и должен стать основным грузовым магистральным тепловозом на дорогах ОАО «РЖД».

Значительно расширилось количество маневровых тепловозов ТЭМ18ДМ – закуплены 154 машины.

ТЭМ18 – маневровый тепловоз с электрической передачей с осевой формулой 30–30. Тепловоз ТЭМ18 выпускается Брянским машиностроительным заводом (БМЗ) с 1992 года. Тепловоз предназначен для

маневровой, вывозной и лёгкой магистральной работы на железных дорогах и промышленных предприятиях. БМЗ строит тепловозы данной серии в исполнении для колеи от 1435 до 1676 мм, для умеренного и тропического климата.



Маневровый тепловозов ТЭМ18ДМ

Приобретены 4 пассажирских тепловоза ТЭП70БС: пассажирский магистральный тепловоз ТЭП70БС мощностью 2942 кВт (4000 л. с.) в секции, с конструкционной скоростью 160 км/ч или 120 км/ч, впервые в России оснащенный системой централизованного энергоснабжения вагонов поезда, имеет модульную конструкцию.

В электровозном парке существенный сегмент заняли грузовые электровозы переменного тока серии «Ермак» 2(3,4) ЭС5К – приобретено 156 ед.

Семейство магистральных грузовых электровозов переменного тока напряжения 25 кВ с четырёхосными секциями, оснащёнными коллекторными тяговыми двигателями. Различные модификации – Э5К, 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К – различаются числом секций соответственно префиксу. Электровозы являются следующей эволюционной ступенью в развитии грузовых электровозов семейства ВЛ80 и позиционируются как их основная замена.



ТЭМ18В – маневровый тепловоз Брянского машиностроительного завода



Пассажирский тепловоз ТЭП70БС

Парк грузовых машин постоянного тока пополнился 96 электровозами 2ЭС6, 30 локомотивами с бустерной секцией 3ЭС6, 3 электровозами с

бустерной секцией 2ЭС10 и 4 локомотивами 3ЭС4К. Закуплено также 9 электровозов переменного тока 2ЭС7.

В парк пассажирских электровозов поступили 5 скоростных локомотивов двойного питания ЭП20. Это Российский двухсистемный скоростной шестиосный пассажирский электровоз, спроектированный Трансмашхолдингом с использованием ряда технических решений французской компании Alstom в рамках совместного предприятия «Технологии рельсового транспорта». ЭП20 задуман как головной проект масштабной программы разработки широкого ряда российских электровозов нового поколения с асинхронным тяговым приводом.

Электровоз серийно выпускается на Новочеркасском электровозостроительном заводе. По состоянию на июль 2020 года выпущено 77 электровозов, все они поступили в собственность ОАО «РЖД» и работают с пассажирскими поездами.

Поступило в эксплуатацию 25 электровозов постоянного тока ЭП2К и 4 локомотива переменного тока ЭП1М.



Локомотивы двойного питания ЭП20



Пассажирский электровоз переменного тока ЭПМ

Пассажирский электровоз переменного тока ЭПМ предназначен для вождения пассажирских поездов. Может водить состав из 24 пассажирских вагонов по участку с подъемом в 9‰ со скоростью 70 км/ч.

Новые машины оборудованы современными системами управления и диагностики. Локомотивы ориентированы на расширение полигонов вождения поездов повышенной массы и длины, при этом у них улучшены параметры энергоэффективности, комфорта и эргономики рабочего места локомотивной бригады.

Производство и закупки нового подвижного состава продолжаются.

Повышение эффективности работы железнодорожной отрасли является стратегически важной задачей для нашей страны. Безусловно, при ее решении необходимо перенимать передовой международный опыт, делать ставку на внедрение логистических и управленческих инноваций.

Вклад РГУПС в развитие локомотивостроения

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС) – динамично развивающийся крупнейший транспортный инновационный университетский комплекс, занимающий высокое место в рейтинге технических вузов страны.

Вопросами разработки и эксплуатации локомотивов в нашем университете занимаются ученые кафедры Тяговый подвижной состав.

Кафедра Тяговый подвижной состав (ТПС) образовалась в сентябре 2018 года решением учёного совета университета путем слияния двух кафедр: Локомотивы и локомотивное хозяйство и Электрический подвижной состав.

Кафедра Локомотивы и локомотивное хозяйство (ЛЛХ) находилась у истоков нашего университета, поскольку выпускала специалистов базовых для того времени специальностей: механических и теплотехнических.

Первым заведующим кафедрой Паровозы, на базе которой создана кафедра ЛЛХ, был известный ученый, крупный специалист в области паровозостроения, один из ярких представителей южной школы паровозников профессор Б.И. Карчевский. Он сумел подобрать лучших на тот период специалистов и создать из них коллектив единомышленников.

Первый выпуск 14 инженеров-механиков, подготовивших дипломные проекты на кафедре, состоялся в 1931 году. В 1935 году под руководством профессора Н.Э. Штраля были подготовлены первые специалисты-тепловозники.

В послевоенные годы началась подготовка специалистов по новым видам тяги.

С 1947 года выпускались инженеры-тепловозники.

В 1949 году в учебные планы был введен курс Электроподвижной состав.

В 60-е годы на кафедре Конструкция и ремонт локомотивов (впоследствии «Локомотивы», а сейчас «Тяговый подвижной состав») сложилась научная школа по автотормозам, конструкциям и динамике локомотивов, в основе которой, лежали многолетние научные эксперименты и исследования сотрудников кафедры под руководством Д.Э. Карминского.

В настоящее время на кафедре Тяговый подвижной состав в образовательный процесс внедряются информационные технологии, методы компьютерного и физического моделирования. При изучении всех дисциплин используется современная вычислительная техника. Кафедра располагает компьютерным классом. Во время занятий широко применяются мультимедийные средства воспроизведения информации.

Научно-техническая библиотека вуза представляет полный электронный каталог на весь состав фонда. Создан архив учебных и учебно-методических пособий авторов-преподавателей РГУПС.

Основное направление научной деятельности кафедры – компьютерное моделирование динамических процессов в электромеханических системах

подвижного состава (тепловозы, электровозы, вагоны, оснащенные подвагонными электрогенераторами).

В научной деятельности кафедры рассматриваются вопросы энергоэффективности тягового подвижного состава.

Возможности использования топливных элементов в качестве энергетической установки на локомотивах посвящен доклад сотрудников РГУПС на 57-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной Дню науки в 1998 году «Применение электрохимических генераторов на базе фосфорнокислых топливных элементов в качестве локомотивной энергетической установки» [2].

Авторы рассматривают вопрос применения в качестве силовой установки автономного локомотива, работающего на газовом моторном топливе, электрохимического генератора тока (ЭХГ) на базе топливных элементов.

Электрохимические генераторы представляют собой одно из перспективных направлений нетрадиционной энергетики. Достоинства ЭХГ: высокий КПД в широком диапазоне нагрузок, малый уровень токсичных выбросов и способность выдерживать значительные перегрузки.

Авторы сравнивают основные технические характеристики локомотива с энергетической установкой на базе фосфорнокислых топливных элементов (ФКТЭ), работающих на природном газе, с характеристиками дизель-генераторной установки (ДГУ) отечественного магистрального тепловоза 2ТЭ116.

Особенностью работы маневровых локомотивов, в основном это тепловозы, является неравномерность нагрузки. Их силовая энергетическая установка имеет двигатель внутреннего сгорания – дизель, работа которого сопровождается выбросом в атмосферу загрязняющих веществ – продуктов сгорания дизельного топлива. Перспективным направлением при выполнении маневровой работы является применение электроподвижного состава, но он имеет ряд проблем с автономностью. В связи с этим стоит задача выпуска энергоэффективного подвижного состава. Перспективным направлением является применение гибридных технологий. Термин «гибридный» означает имеющий несколько источников первичной энергии. О возможности использования гибридных источников энергии на электровозах идет речь в следующей статье «Применение гибридных технологий на электроподвижном составе» [14]. Авторы рассматривают конструкцию гибридного тепловоза, который оснащается накопителем энергии.

При использовании гибридных технологий снижается расход топлива, а также наблюдается значительное снижение выбросов загрязняющих веществ. В связи с этим целесообразно при выполнении маневровой работы использовать электровозы, деятельность которых не сопровождается выбросами загрязняющих веществ. Но электровозы имеют проблемы с автономностью, получая питание от контактной сети. Поэтому при

возможном использовании электровозов для маневровой работы на них необходимо применять гибридные технологии.

В тяговую систему электровоза необходимо включить блок накопителей энергии. Такая система позволит локомотиву совершать работу на неэлектрифицированных участках и использовать энергию рекуперативного торможения, запасая ее в накопителе, тем самым повышая энергетическую эффективность локомотива. Получившийся гибридный электровоз представляет собой маневровый контактно-аккумуляторный электровоз, который имеет в качестве прототипа ВЛ26 – разработки 60-х годов XX века [16].

Тяговая система контактно-аккумуляторного электровоза рассматривается в статье «Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза» [1]. Авторы приводят структуру и варианты тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза. В зависимости от роли и конструкции накопителя энергии, а также типов электрических машин может быть предложено значительное количество вариантов конструкции тяговой системы. Предлагается выбор структуры тяговой системы контактно-аккумуляторного локомотива и ее основных параметров решить методами имитационного моделирования на комплексной электромеханической модели, выполненной в прикладных программных комплексах [15].

Научная работа кафедры Тяговый подвижной состав направлена на решение актуальных проблем, стоящих перед ж.-д. транспортом. Особое внимание уделяется повышению безопасности движения, улучшению динамических характеристик, сцепных свойств, тягово- энергетических показателей локомотивов, ресурсосберегающим технологиям, что способствует повышению конкурентоспособности ж.-д. транспорта в современных рыночных условиях.

Библиографический список

1. Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза / А. А. Андрющенко, А. А. Зарифьян (мл.), Н. В. Романченко [и др.]. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Транспорт-2020 / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2020. – Т. 2: Технические науки. – С. 57-60.
2. Богославский А.Е. Применение электрохимических генераторов на базе фосфорнокислых топливных элементов в качестве локомотивной энергетической установки / А. Е. Богославский, В. М. Рубан, Н. С. Флегонтов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и подготовки специалистов : тез. докл. 57-й науч.-техн. конф., посвящ. Дню науки, 21-23 апреля 1998 г. / РГУПС. – Ростов н/Д, 1998. – С. 157-158.
3. Будущее – за графеновыми аккумуляторами. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2018. – № 11. – С. 38.
4. Воронова Я.Д. История и перспективы развития газотурбинной тяги / Я. Д. Воронова, Д. А. Пузанов. – Текст : электронный // Локомотив : электрон. журн. – 2020. – № 8. – С. 43-48. // Public.ru.
5. Грачев Н.В. Анализ мероприятий по повышению энергоэффективности газотурбовозов. / Н. В. Грачев. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2020. – № 2(42). – С. 35-44.
6. Елсукова М.А. Людиновский завод в истории промышленности России / М. А. Елсукова, Н. И. Ерохина. – Текст : непосредственный // Техника железных дорог. – 2015. – № 1. – С. 80-89.
7. Елсукова М.А. На службе отечеству. Людиновскому тепловозостроительному заводу – 270 лет / М. А. Елсукова, Н. И. Ерохина. – Текст: непосредственный // Локомотив. – 2015. – № 9. – С. 44-48.
8. Захарова Г.Т. Новочеркасскому электровозостроительному заводу 80 лет / Г. Т. Захарова. – Текст : непосредственный // Техника железных дорог. – 2016. – № 2. – С. 83-88.
9. Иоффе А.Г. Коломенскому заводу – 155 лет! / А. Г. Иоффе. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2018. – № 11. – С. 43-46, 4-я стр. обл.
10. Котенко Л.А. Юбилей людиновских тепловозостроителей / Л. А. Котенко. – Текст электронный // Локомотив : электрон. журн. – 2019. – № 4. – С. 46-48, 3-я стр. обл. // Public.ru.
11. Орлов Ю.А. Современные технологии для Новочеркасских электровозостроителей / Ю. А. Орлов. – Текст : непосредственный // Вестник ВЭЛНИИ. – 2016. – № 1. – С. 22-25.
12. Плетнева С. Водород разгонит поезда / С. Плетнев. – Текст : непосредственный // Гудок. – 2021. – № 32, 26 февраля. – С. 1.

13. Полин П.А. Мировые тенденции применения природного газа на локомотивах / П. А. Полин. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2018. – № 11. – С. 39-41.
14. Применение гибридных технологий на электроподвижном составе / Т. З. Талахадзе, Н. В. Романченко, А. А. Зарифьян (мл.), А. А. Андриющенко. – Текст : непосредственный // Труды РГУПС. – 2019. – № 4(49). – С. 111-114.
15. Программный комплекс «Универсальный механизм» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www. universalmechanism.com](http://www.universalmechanism.com).
16. Раков В.А. Контактно-аккумуляторные электровозы серии ВЛ26 / В. А. Раков // Локомотивы отечественных железных дорог 1956-1975. – М. : Транспорт, 1999. – С. 396-398.
17. Сапунков А.Н. НЭВЗ: 80 лет успешного развития / А. Н. Сапунков. – Текст : непосредственный // Вестник ВЭЛНИИ. – 2016. – № 1. – С. 14-21.
18. Тяговые аккумуляторы для рельсового транспорта. – Текст электронный // Железные дороги мира : электрон. журн. – 2021. – № 2. – С. 53-58. // Public.ru.
19. Чернышевская Ю. «Уральские локомотивы»: 10 лет в пути / Ю. Чернышевская. – Текст электронный // РЖД-Партнер : электрон. журн. – 2020. – №11-12 – С. 20-21. // Public.ru.