

## Мобільні і стаціонарні енергозасоби та їх елементи Mobile and stationary power units and their elements



УДК 629.42

### Эволюция двигательных установок железнодорожных локомотивов в Украине и мире: исторические аспекты

И.М. Крыленко<sup>1</sup>, Е.А. Макогон<sup>2</sup>, И.А. Черепнев<sup>3</sup>, Г.В. Фесенко<sup>4</sup>,  
 Н.А. Винокуров<sup>5</sup>, О.П. Иванова<sup>6</sup>

<sup>1,2</sup> Факультет военной подготовки Национального технического университета «ХПИ» (г. Харьков, Украина), e-mail: ivankrylenko@ukr.net<sup>1</sup>, helmk@ukr.net<sup>2</sup>

<sup>3,5,6</sup> Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко (г. Харьков, Украина), e-mail: igorcherpnev@mail.ru<sup>3</sup>, avto\_304@mail.ru<sup>5</sup>, olenka\_ivanova\_1971@mail.ru<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова (г. Харьков, Украина), e-mail: fesenko@mail.ru<sup>4</sup>,

В статье проведено исследование отдельных аспектов развития железнодорожного транспорта на территории Украины и подготовки кадров железнодорожников. Представлен ретроспективный обзор паровозостроения от первых паровых машин до современных газогенераторных двигателей, формирования железнодорожного транспорта будущего.

Современная конфигурация железнодорожных путей Украины в основном сформировалась еще в составе Российской Империи, чему способствовало географическое положение края, его природные богатства.

Авторами рассмотрены несколько вариантов повышения эффективности функционирования и снижения затрат на топливо и энергию в общем объеме эксплуатационных расходов железных дорог.

Анализ данных по общему объему выпуска паровозов заводами Российской Империи показывает, что наибольшее количество паровозов было выпущено именно в Харькове. Следует отметить, что основной проблемой для украинских железных дорог в настоящее время является не столько уменьшение локомотивного парка в целом, а значительный его износ.

Анализ распределения подвижного состава по годам выпуска свидетельствует о существенном недоиспользовании потенциала железных дорог страны в XXI веке.

Более предпочтительным может оказаться вариант разработки мультитопливного железнодорожного локомотива.

Результаты исследований доказали, что паровая машина способна работать практически на любом топливе, которое сгорает: торф, уголь, нефть, мазут, дрова и т. п. Современный уровень развития науки и техники позволяет, используя новые технологические решения вернуться к идее парового двигателя, как в энергетике так и на транспорте.

Харьков с его уникальной производственной базой и научной школой может стать лидером в формировании экологически чистой и безотходной энергетики и железнодорожного транспорта Украины.

**Ключевые слова:** паровая машина, двигатель, локомотив, подвижной состав, железная дорога, эксплуатационные расходы, топливо, энергетика.

**Постановка проблемы.** Как известно, Украина владеет одной из самой разветвленной сетью железных дорог (ЖД) в мире (рис. 1).

Современная конфигурация ЖД путей Украины в основном сформировалась еще в составе Российской Империи, до Первой мировой войны, перед которой вся протяженность ЖД магистралей составляла 156 тысяч километров (без Западной Украины). Необходимость строительства ЖД на Украине возникла давно. Этому

способствовало географическое положение края, его природные богатства. Государству нужны были ЖД для вывоза сельскохозяйственной продукции из плодородного Юго-Западного края и продукции промышленности из районов Донбасса и Кривого Рога.

Первым в 1825 г. поставил вопрос о необходимости строительства ЖД в Украине изобретатель и предприниматель В.П. Гурьев, который считал необходимым связать железными доро-

гами Одессу и Петербург через Киев, Одессу с Москвой через Киев-Чернигов. Помимо этого, он в 1836 г. опубликовал труд «Об учреждении торцовых дорог и сухопутных пароходов в Рос-

сии посредством компании», в котором пропагандировал внедрение машин в народное хозяйство и, особенно на транспорте, поднимал вопрос о дорожном строительстве.



Рис. 1. Карта железных дорог Украины [1]

В.П. Гурьев предложил развить сеть колеи-ных торцовых и ЖД между крупными городами России. Главное значение он придавал торцовым дорогам с курсирующими по ним «сухопутными пароходами», т.е. паровыми тягачами с прицепами (рис. 2).

В 1835 году действительный статский советник В.П. Гурьев предложил заменить традиционных лошадей «сухопутными пароходами», буксирующими сразу несколько повозок, а в зимнее время — несколько саней. Проезжую часть он предлагал мостить «торцами» — цилиндрическими обрезками бревен, уложенными вертикально по ширине колеи «сухопутного парохода». «Торцы» собирались делать из самых твердых пород древесины. Подумывали и о том, чтобы проложить в дорожном полотне металлические «желоба-колесопроводы». По принципу таких желобов позже были сконструированы современные трамвайные пути, которые при надлежащем содержании практически не

препятствуют движению через них безрельсового транспорта.

Решая проблему в комплексе, новатор спроектировал машину, изготавливающую торцы, пневматическое устройство для быстрого сцепления-расцепления повозок или саней с «сухопутными пароходами», разработал технологии ремонта мостовых, систему сигнализации и связи в светлое и темное время суток и далеко не лишние в «деревянно-избяной» России строгие меры противопожарной безопасности.

Проект заинтересовал лично императора Николая I, и он пожертвовал на издание трудов В.П. Гурьева, по тем временам, немалую денежную сумму — 15 тыс. рублей.

К сожалению, даже самая твердая древесина оказалась недолговечной. Она разрушалась под тяжестью и натиском быстро увеличивавшегося потока транспорта. О торцовых мостовых скоро забыли [2]. Поэтому альтернативы ЖД на территории Украины не было. В докладе князь Воронцов Государю отметил: «От поощ-

рения устройства сети железно-конных дорог в наших степях, которые, сближая расстояния, скоростью, правильностью и дешевизною провоза, поставили бы нас в возможность не бояться никакого соперничества на иностранных рынках, зависит будущность торговли нашего южного края».



Рис. 2. Безрельсовый «сухопутный пароход» для поездок из Петербурга в Ораниенбаум (Проект В.П. Гурьева). Рисунки 1837 года

Но когда ходатайство князя Воронцова было повергнуто бывшим Министром финансов гражданином Е.Ф. Канкриным на окончательное рассмотрение Государя, Император Николай I изъявил желание: «чтобы при сооружении просимой ЖД дать ей такое устройство, чтобы оно могло впоследствии послужить для паровозного сообщения» [3].

Для Украины период 90-х годов XIX столетия характеризовался оживлением, как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Ее бескрайние степи быстро меняли свой облик, строились фабрики и заводы, образовывались новые промышленные районы — Донецкий угольный, Криворожский железнодорожный и Приднепровский металлургический.

В новых условиях нельзя было обходиться без такого современного и достаточно развитого вида транспорта как железнодорожный, который тесно связан со всей экономикой страны. Началось строительство первой ЖД на Украине, которая была построена в 1865 году от Одессы до Балты протяженностью 213 км.

ЖД Одесса-Балта строилась за казенный счет около трех лет (1862 - 1865 гг.). Это была первая линия будущих Юго-Западных ЖД. В 1867 - 1870 гг. дорога была продлена до Елисаветграда (ныне Кировоград).

В мае 1868 года приступили к строительству Киево-Балтской ЖД. На работах было занято около 30 тысяч человек. Движение

поездов на этой линии было открыто 7 июня (26 мая) 1870 г..

Вскоре правительство решило продолжить строительство ЖД не за казенный счет, а силами акционерных объединений. Акционерам были гарантированы большие льготы, в том числе прибыль в размере 5,5 процента на затраченный капитал, независимо от рентабельности ЖД. Даже существовавшие тогда казенные ЖД были проданы акционерным обществам.

Летом 1870 года Русское общество пароходства и торговли (РОПИТ) приобрело у правительства Одесско-Балтскую и Одесско-Елисаветградскую линии, купило участок от Тирасполя до Кишинева и линию Бирзула-Жмеринка-Болечиск. Общая длина всей этой сети, получившей название Одесской ЖД, составляла 963 км.

В том же году на базе казенной Киево-Балтской магистрали было образовано общество Киево-Брестской ЖД, которое купило у казны еще участок Киев-Жмеринка с ветвью Казатин-Бердичев и построило линию от Бердичева до Бреста с ответвлением на Радзивиллов (бывшей русско-австрийской границы).

Постоянно увеличиваясь Юго-Западная ЖД продолжала оставаться самой крупной в Российском государстве в течение почти четверти века. В 1882 году общая длина Юго-Западных дорог составила 2168 км главного пути, из которых 284 км были двухпутевыми. На дороге работали 640 паровозов, из которых 139 были товаропассажирскими, 488 — товарными и 13 — танковыми. Дорога имела девять основных паровозных депо. Согласно этому вся линия разделялась на девять участков тяги. Кроме того, существовало двенадцать оборотных депо, несколько резервных и закрытых. Таким образом, до 1917 года был построен основной костяк магистральной сети Юго-Западной дороги. [4].

Успешно развивалась научная школа и производственная база паровозостроения Украины. В 1880 году при киевских мастерских Юго-западных ЖД Александром Парфентьевичем Бородиным (рис. 3) была создана первая в мире паровозная лаборатория.

Опытный паровоз устанавливался в специальном стойле и, работая на месте, приводил в действие все станочное оборудование мастерских. Ведущая колесная пара, отделенная от спаренной, несколько приподнималась над рельсами, и на ее правый, обточенный под шкив, бандаж надевался ремень, действующий на шкив трансмиссионного вала. Поглощаемая мощность, необходимая для приведения в действие станков, составляла около 90 л.с. при 100 об./мин. ведущих колес, что соответствовало скорости 30 - 32 км/час по рельсовому пути.



Вступив в 1889 г. на пост начальника Юго-Западных ЖД, А.П. Бородин большое внимание уделил развитию мастерских, улучшению материальных и культурных условий жизни рабочих и служащих дороги. По его инициативе был создан единственный в свое время хорошо оборудованный динамометрический вагон [5].

А.П. Бородин опубликовал 54 печатных трудов. В 1881 г. он принял самое деятельное участие в основании ежемесячного киевского технического журнала «Инженер». Одним из участников опытов, проводимых в лаборатории под руководством А.П. Бородина, был Л.М. Леви.

В 1893 г. Л.М. Леви продолжил опыты с паровозами в пути между Киевом и Фастовом по Юго-Западной ЖД. Целью опытов было исследование работы машин двойного расширения и применения паровых рубашек цилиндров.

Александр Сергеевич Раевский (1872 - 1924 гг.) был выдающимся теоретиком и конструктором. Он окончил Харьковский технологический институт в 1895 г. (рис. 4). Конструкторская деятельность А.С. Раевского началась на Харьковском паровозостроительном заводе, где им были спроектированы паровозы 1-4-0 Щ, получившие широкое распространение на русских ЖД.

«На території України вперше паровози почали будувати на Харківському (1896 р.) та Луганському (1898 р.) паровозобудівних заводах. Частково випуском паровозів займався Миколаївський суднобудівний завод. Нові паровози будували, також, залізничні майстерні в Києві й Одесі. Ремонтуючи рухомий склад і вивчаючи експлуатаційні недоліки, майстерні створювали конструкції паровозів та вагонів, які за експлуатаційними якостями могли слугувати моделями для спеціалізованих заводів. За статистичними даними: у 1846 - 1868 рр. у Росії було побудовано 227 паровозів, а в період із 1875 - 1880 рр. — 1439, що складало приблизно 239 паровозів на



Рис. 3. Александр Парфентьевич Бородин



Рис. 4. Александр Сергеевич Раевский

рік, у період 1881 - 1891 рр. на вітчизняних заводах було 1866 паровозів, а також зростало будівництво вагонів. У період із 1875 р. до 1880 р. було збудовано 39 280 вантажних вагонів і 1005 пасажирських» [6].

В табл. 1 представленны данные по общему объему выпуска паровозов заводами Российской Империи [5].

Таблица 1. Данные по общему объему выпуска паровозов заводами Российской Империи

Завод	Количество паровозов
Брянский	2272
Луганский	2116
Коломенский	2494
Невский	1974
Путиловский	1985
Сормовский	2164
Харьковский	2620
Воткинский	439
Всего	16064

Как видно из приведенных данных, наибольшее количество паровозов было выпущено именно в Харькове.

Потребностью этих предприятий в кадрах инженеров-механиков железнодорожного транспорта и обусловлено начало подготовки в 1892 году в Харьковском технологическом институте инженеров-паровозостроителей.

Основателем этого направления является профессор П.М. Мухачев. В 1905 году П.М. Мухачев был избран на пост директора Харьковского технологического института имени Александра III, и оставался на этой должности до 1915 года. В 1912 году, имея 25 лет выслуги в одном и том же высшем учебном заведении, получил звание Заслуженного профессора.

В 1917 году П.М. Мухачев по выслуге лет уходит на пенсию и до 1920 года преподает в Харьковском железнодорожном техникуме, а также с 1917 по 1923 год ведет специальные предметы во многих харьковских ВУЗ-ах. В 1920 году его вновь принимают на работу в Харьковский технологический институт (ХТИ).

По непроверенным данным заведующим кафедрой паровозостроения П.М. Мухачев работал с 1929 по 1935 год. А с 1920 по 1929 год кафедрой заведовал его ученик — профессор В.В. Мониц. В 1915 году В.В. Мониц в Киевском политехническом институте защищает диссертацию на звание адъюнкта по прикладной механике по отделу паровозов. С 1917 года В.В. Мониц преподает в ХТИ курс «Эксплуатация паровозов». В 1918 - 1919 годах — доцент ХТИ, а в июле 1920 года — профессор, заведующий кафедрой паровозов.

В результате своей педагогической деятельности П.М. Мухачев подготовил большое количество инженеров для промышленности, одним из которых был директор, главный конструктор Луганского паровозостроительного завода П.А. Сорока, выпускник 1932 года. Среди его воспитанников, работавших в разных ВУЗ-ах и оставивших большой след в жизни страны, много профессоров: А.С. Раевский, В.В. Монич, Н.И. Карташев, П.М. Шаройко, С.М. Куценко [7].

Ещё в начале XX века разными конструкторами предлагались различные варианты конструкций более экономичных, нежели паровозы, локомотивов. В 1924 году в СССР появились первые тепловозы, а в 1931 году было налажено их серийное производство (серия Ээл). И хотя в 1937 году их производство было прекращено (из-за отсутствия надлежащей производственной и ремонтной базы), тепловозы почти сразу показали свою высокую экономичность перед паровозами, затрачивая в 5 - 7 раз меньше топлива на единицу работы.

В 1933 году на советских магистральных ЖД появляется новый вид тяги — электровозная.

Несмотря на более высокие начальные затраты (необходимо строительство контактной сети, тяговых подстанций, а то и целых электростанций), электровозы по сравнению с паровозами более надёжны, а их мощность мало зависит от температуры окружающей среды.

Будучи неавтономным локомотивом, электровоз может использовать возобновляемые ресурсы, например энергию падающей воды. В результате уже в том году на советских заводах (Коломенский и «Динамо») было начато серийное производство электровозов, которое осуществлялось вплоть до начала военных событий.

В послевоенный период, когда началось восстановление страны, а на дорогах возрос товарооборот, мощность и скорости паровозов существенно возросли. Помимо этого, улучшались их качественные показатели, в частности на серийных машинах уже применялись водоподогреватели, проводились опыты с более экономичными пароперегревателями.

Однако к тому времени тепловозы и электровозы уже доказали свои преимущества перед паровозами, тогда как у последних всё яснее проглядывался их основной недостаток — крайне низкий КПД, который даже у самых совершенных паровозов (ЛВ и ПЗ6) не превышал 9,3 %.

При восстановлении разрушенных войной локомотивостроительных заводов в них начали создавать цеха для производства новых видов локомотивов. Уже в 1947 году Харьковский паровозостроительный завод перешёл на крупносерийное производство тепловозов, а

Новочеркасский паровозостроительный завод — электровозов (название завода при этом сменилось на НЭВЗ).

В 1950 году свои последние паровозы выпускает Брянский машиностроительный завод.

29 июня 1956 года Коломенский завод выпускает последний в СССР пассажирский паровоз — ПЗ6-0251, а в конце года Ворошиловградский паровозостроительный завод (к тому времени уже Ворошиловградский тепловозостроительный) выпустил последний грузовой, а также последний магистральный паровоз советского производства — ЛВ-522.

В том же 1956-м году оба эти завода перешли на выпуск тепловозов. В 1957 году на Муромском паровозостроительном заводе был прекращён выпуск последней в СССР серии маневровых паровозов — 9Пм.

Казалось, что век паровозов закончился. К 1991 году Украина подошла, имея мощное железнодорожное хозяйство. Однако экономический кризис повлек за собой существенное сокращение в стране подвижного состава и уменьшение объема перевозок, а износ основных фондов отрасли — сокращение эксплуатационной длины ЖД путей общего пользования до уровня 1964 г.

В различных источниках приводятся разные цифры, но они сводятся к одному: наблюдается резкое снижение численности подвижного состава. Основные показатели развития ЖД транспорта Украины за годы независимости приведены на рис. 5 и в табл. 2 [8, 9].

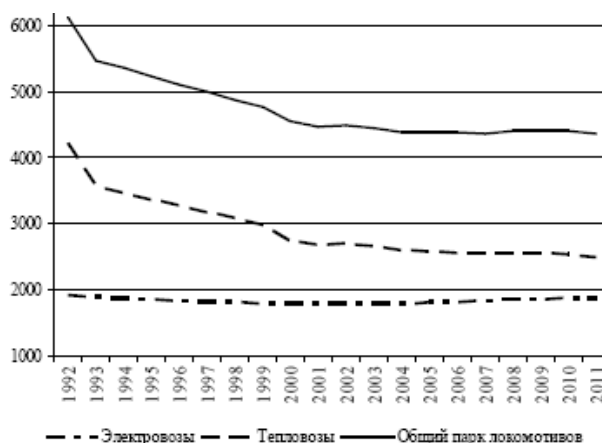


Рис. 5. Динамика изменения инвентарного парка локомотивов Украины за 1991 - 2011 гг.

Данное обстоятельство усугубляется техническим состоянием подвижного состава в Украине. «Фізична спрацьованість основних фондів залізничної галузі становить понад 80%, у тому числі електровози — 90%, вантажні магі-

тральні тепловози — 99%, вагони інвентарного парку — 86%, із них напіввагони — 88%. Тобто значна частина рухомого складу експлуатується за межами встановленого нормативного терміну служби. Зокрема напіввагони — 46% (наявний стан 58 044 од., із нього із закінченим нормативним терміном експлуатується 27 000 напіввагонів, у 2012 році ще закінчується нормативний

термін експлуатації — 11 000 напіввагонів) вантажні електровози — 75%, магістральні тепловози — 91%. Протягом наступних чотирьох років ситуація буде ускладнюватися, зокрема до 2015 року 94% балансової наявності напіввагонів, найбільш затребуваного вантажного рухомого складу, підлягає капітально-відновлювальному ремонту або списанню» [10].

**Таблица 2.** Основные показатели развития ЖД транспорта Украины за годы независимости

Показатель	1991 г.	2000 г.	2009 г.
<b>Железнодорожная сеть</b>			
Эксплуатационная длина ЖД путей общего пользования (тыс. км)	22,8	22,3	21,7
из них электрифицированные участки (тыс. км)	8,3	9,1	9,7
из них двух- и многопутевые участки (тыс. км)	8,0	7,3	7,2
<b>Подвижной состав</b>			
Локомотивы всех видов (тыс. ед.)	10,0	4,7	1,9
Вагоны всех видов (тыс. ед.)	300,0	185,7	124,9
<b>Коммерческие перевозки</b>			
Грузов (млн. т)	851,0	357,0	391,0
Пассажиров (млн. чел.)	657,0	499,0	236,0
из них дальнего следования (млн чел.)	464,0	82,4	112,6
Среднее количество штатных работников на ЖД транспорте (тыс. чел.)	665,0	375,9	351,0

Остановимся, прежде всего, на локомотивах. В табл. 3 приведены данные по подвижному составу начиная с 2008 по 2014 год [11].

Следует отметить, что основной проблемой для украинских ЖД в настоящее время является не столько уменьшение локомотивного парка в целом, а значительный его износ.

В табл. 4 показано распределение подвижного состава по годам выпуска [11].

Эти данные свидетельствуют о существенном недоиспользовании потенциала ЖД страны в XXI веке. При эксплуатации подвижного состава

ва за пределами срока службы существенно ухудшаются показатели безопасности и экономической эффективности, растет ресурсо- и энергоёмкость перевозок.

В настоящее время на долю ЖД транспорта, приходится около 15 % энергоресурсов, потребляемых всеми видами транспорта. И это несмотря на то, что ЖД транспорт по сравнению с автомобильным на единицу полезной работы требует почти в 9 раз меньших энергозатрат при перевозке грузов и в 3,5 раза при перевозке пассажиров [12]. В перспективе возникают угрозы: с одной

**Таблица 3.** Данные, по подвижному составу начиная с 2008 и по 2014 год (на конец года; ед.)

ЖД транспорт:	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
тепловозы	2545	2545	2539	2513	2424	2320	2152
электровозы	1855	1860	1861	1858	1824	1765	1720
паровозы	52	52	51	40	37	36	24
грузовые вагоны, тыс.	131,6	124,9	120,6	111,9	125,2	116,1	111,5
пассажирские вагоны, тыс.	7,6	7,4	7,3	7,1	6,8	6,2	5,4

стороны — резкое повышение расходов на эксплуатацию устаревшего подвижного состава, с другой — невозможность осуществлять перевозки из-за его физического отсутствия. Все вышеупомянутое подтверждает актуальность обсуждения данной задачи и предложения воз-

можных путей её решения при формировании мероприятий по восстановлению парка подвижного состава ЖД транспорта.

#### **Анализ публикаций.**

В изученных авторами источниках предлагается несколько вариантов повышения эффек-

тивности функционирования и снижения затрат на топливо и энергию в общем объеме эксплуатационных расходов ЖД.

#### 1. Электрификация ЖД.

Согласно программе электрификации, до 2016 года включительно железнодорожники планируют электрифицировать 1562 км на участках, входящих в стратегически важные направления развития ЖД транспорта Украины, которые необходимы для разграничения движения пассажирских и грузовых поездов, внедрения скоростного движения и обеспечения увеличения пропускной способности ЖД. Новые

электрифицированные участки позволят снизить потребление дизтоплива на 198,9 тыс. тонн в год, при этом выбросы газов в атмосферу от сжигания дизтоплива уменьшатся на 646,6 тыс. тонн в год, что позволит значительно улучшить экологическую безопасность регионов, прилегающих к ЖД линиям. За годы независимости Украины за средства ЖД Украины проведена электрификация более 1700 км эксплуатационной длины ЖД линий (для сравнения, в 60 - 80-х годах прошлого века, только за 1 год в строй вводили 500 - 600 км новых линий), полигон электрификации увеличен на 21 %.

**Таблица 4.** Распределение подвижного состава по годам выпуска

	Всего	В том числе по годам выпуска				
		до 8 лет	9-15 лет	16-25 лет	26-40 лет	более 40 лет
Тепловозы	100,0	0,2	0,1	11,6	72,6	15,5
Электровозы	100,0	5,1	2,5	4,5	34,9	53,0
Паровозы	100,0	–	–	–	–	100,0
Грузовые вагоны	100,0	5,7	1,3	19,4	66,4	7,2
из них:						
крытые	100,0	–	–	4,0	95,1	0,9
платформы	100,0	–	–	52,8	46,8	0,4
полувагоны	100,0	35,3	3,0	10,9	50,7	0,1
цистерны	100,0	–	2,9	21,5	56,2	19,4
рефрижераторы	100,0	–	–	85,9	12,1	2,0
Пассажирские вагоны	100,0	5,6	2,5	19,9	16,1	55,9

Эксплуатационная длина электрифицированных ЖД Украины составляет 9877 км. Электрифицированные участки составляют 45% от общей эксплуатационной длины ЖД. Оптимальным для стран с развитой ЖД инфраструктурой является электрификация 50 - 60% общей длины ЖД сетей страны с выполнением ими 90 - 95% общего объема перевозок.

На сегодняшний день по абсолютной длине электрифицированных ЖД Украина занимает 10-е место среди стран мира и 6-е среди стран Европы [12, 13].

2. Допуск к использованию инфраструктуры магистральных ЖД частных компаний-перевозчиков, владеющих собственными локомотивами.

Для ответа на этот вопрос изучим российский опыт. Одним из пионеров использования приватной локомотивной тяги стало ООО «Трансойл», ранее называющееся «Линкойл». Переименование компании в 2003 году примерно совпало по времени с приобретением собственных локомотивов. В 2006 году, после начала работы с собственными локомотивными бригадами, в ее структуре появилось специализированное локомотивное подразделение – «Трансойл-сервис». Использование собственных бри-

гад сразу показало свою экономическую эффективность не только в части сохранности парка и внутреннего оборудования локомотивов, но и в экономии топлива (как показал опыт «Трансойл-сервиса», экономить можно порядка 20%). Еще одним плюсом использования собственной локомотивной тяги является повышенная производительность локомотива [14].

Однако, в «Государственной целевой программе реформирования ЖД транспорта на 2010 - 2019 года» в Украине создание независимых перевозчиков в области грузовых перевозок не предусматривается [9].

#### 3. Перевод локомотивов на газ.

История создания локомотивов на газе (с газотурбинным или газопоршневым двигателем) началась в конце 1930-х годов.

В 1937 г. американская компания Plymouth Locomotive Works представила опытный образец газопоршневого локомотива (рис. 6), а в 1938 г. в Швейцарии компанией Brown, Boveri & Cie был построен первый газотурбовоз — Am 4/6 1101 [10].

Подобные работы осуществлялись и в СССР. 30 сентября 1959 г. завершили сборку газотурбовоза Г1-01 конструкции Л.С. Лебедян-



ского. 24 декабря его обкатали на магистрали и к новому году отправили на испытательное кольцо МПС. В 1961 г. его испытали на экспериментальном кольце МПС, а в следующем году направили на ЖД для эксплуатации.



Рис. 6. Экспериментальный локомотив Plymouth ML с газопоршневым двигателем (1937 г.)

В течение года Г1-01 показывал хорошие качества и надежную работу (рис. 7). В 1964 г. построили два пассажирских газотурбовоза — ГП1-0001 и ГП1-0002. Их создали на основе ходовой части и кузова ТЭП60 с ГТД мощностью около 3,5 тыс. л.с., которые проработали более 10 лет без замечаний.



Рис. 7. Газотурбовоз Г1

В 1960 г. Луганский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции построил экспериментальную секцию газотурбовоза ГТ101-001 (рис. 8). Пятиступенчатую газовую турбину с двусторонним отбором энергии изготовил Брянский машиностроительный завод. Первый рейс газотурбовоз совершил в июле 1961 г.

Широкому распространению газотурбовозов препятствовали следующие факторы (цитируется по источнику [15]):

1. В образцах, где в качестве топлива использовался относительно дешёвый судовый

мазут, турбины быстро загрязнялись и требовали ремонта. В связи с этим значительно возросла стоимость эксплуатации локомотивов.

2. Низкий КПД, особенно при малой нагрузке, привел к постепенному вытеснению газотурбовозов более эффективными дизельными тепловозами.



Рис. 8. Газотурбовоз ГТ101-001 на территории Луганского завода, 1960 г.

3. Нефтяной кризис 1973 г. привел к резкому росту цен на топливо. Некоторые страны, в том числе Франция, электрифицировали свои ЖД. Из-за этого не был реализован проект высокоскоростного пассажирского движения с использованием газотурбовоза TGV 001 (1969 г., производство Alstom) [15].

В настоящее время активные экспериментальные работы по газификации ЖД проводятся в США и РФ.

В России по инициативе ОАО «РЖД» были изготовлены несколько опытных образцов маневровых газопоршневых локомотивов:

- ТЭМ18Г — два образца были построены в 1997–1998 г., максимальное замещение дизельного топлива газом — 50%, запас СПГ — 600 кг;
- ЧМЭЗГ — 2004 г., замещение дизельного топлива газом увеличено до 60%, запас СПГ — до 800 кг; решение о серийном производстве машин не было принято;
- ТЭМ19 — производство Брянского машиностроительного завода, мощность — 880 кВт (1196 л.с.), запас СПГ — 4500 кг. Первая поездка состоялась в декабре 2013 г., сейчас опытная эксплуатация продолжается на участке Голутвин-Карасево Рязанского направления Московской ж. д.

В то же время продолжается работа над магистральными газотурбовозами:

- ГТ1-001 — опытный образец построен в 2007 г. на Воронежском тепловозоремонтном заводе (филиал ОАО «Желдоррем-



маш») на базе электровоза ВЛ-15, после модернизации и установки тяговой аккумуляторной батареи в 2012 г. переименован в ГТ1h-001; продолжается опытная эксплуатация;

- ГТ1h-002 — опытный образец Людиновского тепловозостроительного завода на базе тепловоза ТЭМ7А. Впервые представлен на выставке ЭКСПО-1520 в сентябре 2013 г. До 2020 г. планируется производство 40 подобных газотурбовозов (рис. 9).



Рис. 9. Магистральный газотурбовоз ГТ1h-002

В табл. 5 представлены сравнительные данные абсолютных значений показателей качества автономных локомотивов [16]. Из их анализа видно, что локомотивы на газе обладают отменными характеристиками.

Однако более предпочтительным может оказаться вариант разработки многотопливного ЖД локомотива.

#### Изложение основного материала.

В работе [17] представлен ретроспективный обзор газификации твердых топлив и оснащение различных видов транспорта газогенераторными двигателями. В конце 40-х годов появилась газогенераторная модификация мотовоза Муз-4 (рис. 10), серийно выпускаемая Онежским тракторным заводом (с силовыми установками от газогенераторных грузовиков ЗИС-21 и Урал-ЗИС-352). В начале 1950-х годов по проекту института ВНИИЖТ Улан-Удэнским локомотиворемонтным заводом была изготовлена партия газогенераторных тепловозов марки ТЭ1Г, а на Харьковском заводе транспортного машиностроения был сконструирован, изготовлен и испытан опытный газогенераторный магистральный тепловоз ТЭ4 (рис. 11).

Таблица 5. Абсолютные значения показателей качества автономных локомотивов

№ п/п	Показатели	Тепловоз 2ТЭ116	Газотепловоз 2ТЭ116Г	Газотурбовоз ГТ1-001
1	Функциональный критерий $\lambda$ , $\text{т}^*\text{км}^2/\text{ч}$	$2,55*10^6$	$2,42*10^6$	$6,4*10^6$
2	Запас топлива, т: дизтоплива, сжиженного природного газа	13,36 (2*6,68)	2*7,17	17
3	Служебная масса, т: тяговой, криогенной	276 (2*138)	138:88 (одной секции)	300
4	Мощность, кВт	4500 (2*2250)	4500 (2*2250)	6720
5	Часовой расход топлива	0,2 кг/кВт*ч	(при температуре газа 5 - 20°C) подача газа в газодизель 500 кг/ч = 0,22 кг/кВт*ч	0,34 кг/кВт*ч
6	Конструкционная скорость, км/ч	100	100	100
7	Скорость длительного режима, км/ч	24	23,4	38
8	Сила тяги длительного режима, кН	520 (2*255)	520 (2*255)	620
9	Сила тяги при трогании с места, кН	810	810	883
10	КПД, %	42	36	30
11	Выбросы, холостой ход: оксид азота	180 $\text{мг}/\text{м}^3$	153 $\text{мг}/\text{м}^3$	95 $\text{мг}/\text{м}^3$

Изображенный на рис. 11 опытный образец магистрального газогенераторного тепловоза, выпущенный Харьковским заводом транспортного машиностроения. Он был оборудован газогенераторной установкой и двигателями мощностью в 2 тыс. л.с.. Двигатели работали на антраците с добавлением небольшого количества жидкого топлива.

В этой работе был проведен анализ динамики оформления патентов в области газификации твердых топлив (ГТТ). Результаты анализа представлены в виде графика (рис. 12):

Следует отметить, что после периодических пиков в 20-е, 30-е и 40-е годы прошлого века и провала в 50 - 70-е годы имел место краткий по времени всплеск интереса к этой тематике в начале 80-х годов, потом снова наступило затишье на протяжении 90-х годов (с небольшим подъемом в середине).

Авторы статьи провели анализ публикаций, посвященных идеям повышения эффективности и усовершенствования конструкций паровозов в аналогичные временные интервалы и выявили аналогичную картину.

В журнале [18] была размещена статья «Паровоз на угольной пыли»: «В паровозной топке сжигается обычно кусковой уголь. Наиболее мелкие кусочки угля при сильной тяге с такой быстротой выносятся наружу, что не успевают сгореть. По этой причине потери топлива, например в паровозах «ФД» и «ИС», достигают 25 - 40%. Огромное количество угля в виде таких кусочков выбрасывается «буквально на ветер». Как избежать таких колоссальных потерь?

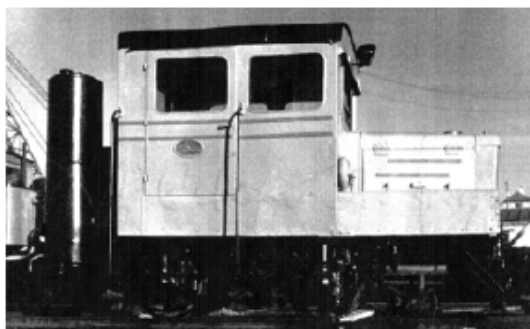


Рис. 10. Газогенераторный мотовоз Муз-4

Этим вопросом занялся НИИ ЖД транспорта. Собственно, путь решения проблемы известен давно: если сжигать в паровозной топке уголь в пылевом состоянии, то потерь не будет.



Рис. 11. Газогенераторный магистральный трехсекционный тепловоз ТЭ4

Однако пылеугольное топливо не получило распространения на ЖД транспорте. Этому препятствовало одно весьма существенное обстоятельство: большое количество угольной пыли обладает способностью самовоспламеняться. Хранить ее на складе трудно и опасно, гораздо большую опасность представит скопление легковоспламеняющегося топлива на движущемся локомотиве».

Для решения этой проблемы было предложено превращать уголь в пыль непосредственно на локомотиве. Смесь газов, угольной пыли, воздуха и пара направляется из мельницы по

трубам вверх и поступает в верхнюю часть сборника угольной пыли (бункера) или же непосредственно в топку. Направление смеси зависит от положения заслонки, устроенной у выхода из мельницы. В бункере хранится небольшое количество угольной пыли, к тому же воздух снаружи поступить не может, поэтому опасность самовоспламенения исключена. Из бункера угольная пыль подается в топку. Регулирование подачи топлива осуществляется простым поворотом вентиля, рукоятка которого расположена у рабочего места машиниста.

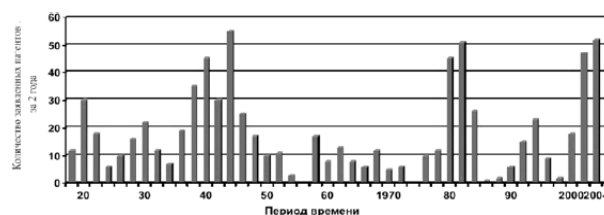


Рис. 12. Динамика оформления патентов в области ГТТ: количество заявленных патентов за 2 года

Таким образом, все управление топкой сводится к простому повороту рукоятки. Работа кочегара упраздняется. Обычно при подбрасывании угля в топку происходят колебания температур, которые вредно влияют на котел. При сжигании угольной пыли температурные колебания исключены. Кроме того, благодаря полному сжиганию топлива отпадает необходимость и в частой чистке топки. Опытная установка пылеугольного отопления была установлена на паровозах серии «ЭМ». Испытания прошли весьма успешно. Состав весом в 1927 тонн шел со скоростью 44 километра в час, то есть превысил техническую скорость.

На рис. 13 представлена схема пылеугольного отопления на паровозе. Из тендера кусковой уголь 5 подается при помощи шнека 6 в мельницу 3. Из мельницы уже распыленный уголь поступает в бункер 4, а оттуда в топку 1. Из топки посредством вентилятора 2 в мельницу направляются топочные газы.

Был создан паровоз серии «ФД» с пылеугольным отоплением. В 1950 - 1956 гг. устройствами пылеугольного отопления были оборудованы четыре серийных типа паровоза советских ЖД. Правда, все эти работы, как в нашей стране, так и за рубежом не выходили за пределы опытных, поисковых. В процессе этих работ и создавались варианты конструкций паровозов с пылеприготовлением на паровозе и стационарным, испытывались различные принципы образования пылевоздушной смеси для факела, исследовалось применение углей различных физико-химических качеств.

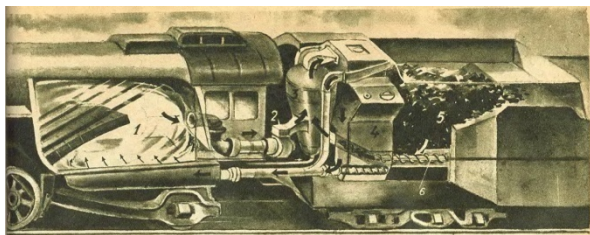


Рис. 13. Схема пылеугольного отопления на паровозе: 1 – топка; 2 – вентилятор; 3 – мельница; 4 – бункер; 5 – кусковой уголь; 6 – шнек

В ряде случаев строились опытные партии паровозов, как это было в Бразилии, Германии. Но необходимая эксплуатационная надежность работы пылеугольных паровозов не была достигнута. Сгорание массы угля в потоке факела при высоких температурах, происходящее не только в топочном пространстве, но и в трубчатой части котла, приводило к заносу расплавленными частичками шлака задней решетки топки и жаровых труб, что резко ухудшало процесс сгорания топлива. Причем при использовании пыли из малозольных углей с высокой температурой плавления шлака время непрерывной форсированной работы котла значительно возрастает, но неизбежно имеет место процесс шлакообразования на его трубчатой части [19].

Примерно в это же время проводились работы по созданию гибрида паровоза и тепловоза. Специалисты считали, что дизель и паровая машина смогут работать как порознь, так и совместно. Именно такой локомотив назвали тепловозом. Его опытный образец в 1935 году предложил построить студент Московского электромеханического института инженеров транспорта Л.М. Майзель.

Научно-технический совет НКПС одобрил его предложение и поручил НИИ ЖД транспорта разработать технический проект. В 1939 году проектирование грузового тепловоза продолжалось на Коломенском машиностроительном заводе имени В.В. Куйбышева. Ведущими конструкторами разработки были инженеры Л.С. Лебедевский, М.Н. Щукин, А.И. Козьякин.

Локомотив изготовили всего за 5 месяцев. Его назвали ТП1-1 (тепловоз, первый вариант, № 1, рис. 14).

Первую поездку он совершил 26 декабря 1939 года по маршруту Голутвин-Луховицы. Коломенский тепловоз представлял собой уникальную машину, не имевшую аналогов за рубежом. На ней провели экспериментальную проверку многих оригинальных агрегатов и технических решений.

С каждой стороны локомотива разместили по два цилиндра, расположенных один над другим. В каждом перемещались во встречных на-

правлениях два поршня, разделяя внутреннее пространство на три рабочие полости.

При разгоне все цилиндры работали как паровая машина. Когда скорость тепловоза достигала 15 - 25 км/ч, подача пара в средние полости прекращалась, а вместо него из газогенераторов начинала поступать смесь воздуха и горючего газа.

Газогенераторов было пять, размещались они на тендере, их часовая производительность достигала 4800 м<sup>3</sup>. С помощью паровой турбины мощностью 300 л.с. каждую минуту в них нагнеталось около 200 м<sup>3</sup> воздуха.

Твердое топливо подавалось из угольных ям винтовыми конвейерами.

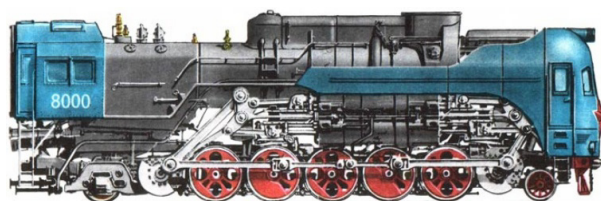


Рис. 14. Тепловоз ТП1-1

Газ сначала использовали для подогрева питавшей паровой котел воды. С этой целью газ пропускали по трубам котлов-утилизаторов, где он охлаждался с 700 до 200°С, а затем, миновав фильтр грубой очистки, поступал в калорифер и фильтр тонкой очистки.

В результате газ полностью освобождался от угольной пыли и остывал до 100°С. В таком состоянии он смешивался с наддуваемым в средние полости цилиндров воздухом и после сжатия воспламенялся искрой свечи.

Что касается пара, то, отработав в цилиндрах, он конденсировался в воду, которая снова поступала в паровой котел. Пароконденсаторы также располагались на тендере, в его задней части. Паровой котел с пароперегревателем, дымосос, газовый водоподогреватель, механизированный углеподатчик, пароконденсаторы — все это конструкторы ТП1-1 позаимствовали у лучших паровозов.

Газовый двигатель внутреннего сгорания с наддувом и движущимися встречно поршнями, угольный газогенератор были элементами, взятыми от наиболее совершенных тепловозов того времени.

Усилие тяги от штоков поршней передавалось двум отборным валам, а от них на шатунные механизмы движущих колесных пар.

В июне 1940 года ТП1-1 поступил на испытательное кольцо НИИ ЖД транспорта. За четыре месяца машина совершила 78 поездок и прошла около 2000 км. Во время испытаний об-



наружилось, что при скорости около 40 - 45 км/ч горючая смесь дает преждевременные вспышки. Этот недостаток коломенцы вскоре устранили, снизив степень сжатия в средней полости цилиндров [20].

В 30-е годы необходимость создания тепловозов обосновывали достаточно высоким КПД — до 16% по расчетам и 11% в испытательных поездках, тогда как у паровозов он составлял всего 6 - 7%. Принимали во внимание и возможность изготовления новых машин на паровозостроительных заводах.

Но в послевоенное время отечественная промышленность освоила серийный выпуск тепловозов с электрической передачей. Их КПД в наивыгоднейших режимах работы достигал 26 - 27%. Построить наряду с ними менее экономичные локомотивы стало делом нерентабельным. Это и решило судьбу тепловозов, хотя с технической точки зрения то были оригинальные и интересные конструкции.

Следующий пик интереса к паровозостроению наблюдался (см. график на рис. 12) в конце 80-тых годов XX века.

В 1984 г. в Аргентине был построен усовершенствованный паровоз типа 2-4-2, развивающий мощность 3300 кВт.

По мнению специалистов, коэффициент полезного действия современного паровоза может быть поднят до 15%. При этих условиях затраты на эксплуатацию таких паровозов по данным расчетов существенно ниже затрат на тепловозную тягу. Именно такие соображения явились основой предложений по возобновлению строительства паровозов, оснащенных новейшим оборудованием фирм Великобритании и США.

В 1980г. фирмой «Америкен Коул Энтерпрайз» (АСЕ) по поручению фирм «Берлингтон Нортен» и «Чесси Систем Рейлруд» (США) был разработан проект усовершенствованного паровоза АСЕ 3000 с колесной формулой 2-4-1, мощностью 2210 кВт (3000 л.с.), максимальная мощность 2930 кВт (3980 л.с.). Нагрузка от сцепной оси паровоза на рельсы составляет 27,2 т, котловое давление 2,1 МПа.

Паровоз оборудован четырехцилиндровой паровой компаунд-машиной (две пары противоположно расположенных взаимно независимых цилиндров), что обеспечивает оптимальное динамическое воздействие экипажа на путь.

Работа парораспределительного механизма контролируется микропроцессорным устройством, учитывающим мгновенное изменение потребляемой мощности и условий сцепления колес с рельсами. Микропроцессор также регулирует подачу угля в топочную часть, представляющую собой двухступенчатую систему сжига-

ния угля, а затем — регенерируемых летучих газов. Отработавший пар конденсируется в вакуумном охлаждении.

Паровоз оснащен системами утилизации тепла отходящих газов, которое используется для подогрева питательной воды и воздуха, подаваемого в топку. Решены вопросы обеспечения паровоза водой и топливом, удаления шлака и изгари. Пробег паровоза без заправки водой составляет 1600 км, а без заправки топливом — 800 км.

Отдельные технические новшества паровоза АСЕ 3000 проверялись в эксплуатации на паровозах ЮАР.

В 1982 г. компанией «АСЕ» были построены два опытных образца паровоза.

Фирма «Нейшнл Стим Проподжн» (США) предполагает создание паровоза с использованием атмосферной конденсации, водотрубной конструкции котла с давлением пара 7,03 МПа и парозлектрической камеры сгорания угля, работающей на псевдосжиженных двухслойных пластах топлива. Расширение пара будет происходить в 16-цилиндровой паровой машине с межступенчатым подогревом, энергия к движущим колесам должна поступать посредством электрической передачи переменного тока. Над паровозами нового поколения уже нет шлейфа дыма и пара [19].

Не остались в стороне от исследовательских работ по паровозам нового поколения и харьковчане. В конце 80-х годов в Харьковском политехническом институте был разработан детальный проект так называемого «Паровоза XXI века». Спроектированный в ХПИ паровоз (рис. 15) трехсекционный. В нем 4-ре четырехосных экипажа, а на крайних секциях еще по двухосной бегунковой тележке. Поэтому осевая формула выглядит довольно замысловато:

$$2-4-0 \text{ — } | \text{ — } (0-4-0+0-4-0)+0-4-2$$

(в скобках часть формулы, относящаяся к средней секции). Ее симметрия иллюстрирует одинаковую приспособленность локомотива к движению передним и задним ходом.

В бункере тендера 60 т специально приготовленной угольной пыли. Через 12 створок, каждая из которых имеет индивидуальный привод, она попадает в шнековый транспортер.

Чтобы уголь не смерзался и не примерзал к стенкам, по всей наружной поверхности бункера расположены радиаторы обогрева. В морозы вентилятор будет закачивать туда отработанный горячий газ.

Управлять подачей топлива — выбором степени и продолжительности открытия створок бункера, подбором скорости вращения шнека — будет, естественно, автоматика. Через форсунки топливо распыляется в факельной камере.

Воздух для этого нагнетает центробежный вентилятор. Он прогоняет поток по специальным коробам, огибающим паровой котел. Нагретый воздух под давлением 0,03 МПа вдвухает уголь.

Горящая при температуре около 1500°C смесь отдает тепло трубкам водотрубного котла, затем пароперегревателя, и наконец, водоподогревателя.

Остывшие до 200°C газы, очистив предварительно от золы, выбрасывают через дымовую

трубу в атмосферу. Для очистки в поток газа впрыскивают воду. Водой же смывают и задержанную золу, которая накапливается в шлакоборном бункере.

По предварительным оценкам, можно уловить до 95 % пылеобразных шлаков, образовавших традиционный дым. Так называемое мокрое шлакоудаление обеспечивает долговечность топки. Но самое главное — делает паровоз экологически чище.



Рис.15. Проект «Паровоза XXI века», конструкции ХПИ

В котле вода, нагреваясь, поднимается по трубкам и превращается в пар. Под давлением 3,2 МПа он через 16 комплектов электроуправляемых клапанов подается в паровые машины.

Когда машинист открывает регулятор, он направляет пар либо в 1, либо в 2, 3, ... и, наконец, во все 8 блоков цилиндров. Таким образом, у локомотива 8 ступеней регулирования тяги.

Так называемый «мятый» пар из машины идет в верхнюю часть пароконденсатора, где его принудительно охлаждают атмосферным воздухом. Из водосборника регенерированную воду через подогреватель закачивают в нижнюю часть котла.

Электроэнергией локомотив снабжают 2 генератора постоянного тока, один работает от паровой турбины, другой — только во время движения от бегунковой тележки пароконденсаторной секции.

По расчетам, мощность его машин 8000 л.с., а КПД можно довести до 20 - 21%. Кроме того, за счет большого сцепного веса локомотив развивает тягу 65 тыс. кг. [21].

В табл. 6 приводятся параметры локомотивов с угольным отоплением разработки специалистов из ХПИ и США.

Исследуя около 30 первичных двигателей и их модификаций для локомотивов, американские специалисты расположили их в зависимости от расходов на годовую эксплуатацию.

Паровая машина в этом списке оказалась на третьей позиции, несколько уступив в рентабельности газовой турбине и двигателю Стирлинга. Дизель был только четырнадцатым. Правда, эта классификация очень зависит от цены на нефть, которая сильно колеблется, но все же показательна.

Специалисты считают, что пока паровоз требует более глубокой проработки. Только поездная работа опытного образца, а лучше нескольких машин, в реальных условиях на одной из крупнейших ЖД раскроет все положительные и отрицательные свойства паровика нового поколения.

**Таблица 6.** Параметры локомотивов с угольным отоплением разработки ХПИ и США

Наименование параметра	ХПИ проект	АСЕ 3000 (США)
Длина по сцепкам, м	66	34
Мощность максимальная, л.с.	8000	3000
Высота, м	4,3	4,3
Вес снаряженный, т	420	
Вес порожний, т	360	
Количество движущих колесных пар	12	4
Нагрузка на движущую колесную пару, т	23	27
Котел:		
тип	водотрубный	огнетрубный
давление, МПа	3,2	1,7
температура перегретого пара, °С	500	430
Машина:		
тип	однократная	компаунд
количество ступеней расширения пара	1	2
Запас топлива	60	33

В последующие годы интерес к паровым локомотивам значительно снизился.

В развитом мире производство паровозов прекратилось в 50 - 60-х годах — им на смену пришли тепловозы и электровозы. К примеру, СССР одним из первых в мире (после США) прекратил их производство в 1956 году. До 1962 года в страну по ранее заключённым контрактам ещё поступали венгерские паровозы серии ЭР. В Германии производство такого транспорта прекратилось в 1959 году (серии BR 23 105).

Однако и в развитых странах их эксплуатация продолжалась ещё десятки лет. Даже в ФРГ паровозы служили до 1975 года, а в ГДР последний скорый поезд под паром отправился в путь 29 октября 1988 года. В СССР дольше всех паровозы проработали на Забайкальской ЖД (депо Могоча и Белогорск). Здесь они были выведены из эксплуатации в 1974 году. Но на промышленных ЖД ветках паровозы работали до конца 80-х годов.

Последней в мире страной паровозов остался лишь Китай. В этой стране магистральные паровозы серии QJ конструировались до 1988 года. Интересно, что этот паровоз был создан в начале 50-х годов при помощи советских специалистов с применением узлов и механизмов паровозов серий ФД и ЛВ. Локомотивы QJ проработали до декабря 2005 года. А паровозы типа 1-4-1 серии SY строились даже до конца 1999 года и ещё сегодня работают в горнодобывающей и металлургической промышленности Китая. Поезда на пару привлекают китайцев дешёвизной в эксплуатации и недорогим сырьём — углем, на котором они работают. Даже в 2010 - 2011 годах в Китае оставались в работе от 100 до 150 паровозов (рис. 16). [22].



Рис. 16. Паровозы заняты перевозкой угля на одном из карьеров в китайской провинции Внутренняя Монголия

Новый этап возросшего интереса к паровым поршневым машинам и паровозам начался с двухтысячных годов. Это может быть объяснено тем, что во всем мире существуют программы по использованию альтернативного топлива в энергетике и на транспорте, а прежде всего отходы лесного и сельскохозяйственного производства.

В Украине ежегодно заготавливается около 10 млн м<sup>3</sup> древесины. При этом в ходе ее переработки возникает большое количество отходов, которые можно использовать в качестве источника тепловой энергии. Доля отходов при ведении лесозаготовок составляет 12 %, лесопилении — 35%, при производстве пиломатериалов — 35%, в мебельном производстве — до 54%. Кроме того, около 10% древесной массы составляет кора деревьев. Все это является сырьём для переработки и получения дополнительной энергии [23].

Результаты исследований доказали, что паровая машина способна работать практически на любом топливе, которое сгорает: торф, уголь, нефть, мазут, дрова и т.п. Например, в 1938 году паровоз компании Dixie Limited со-



вершил поездку из Флориды в Чикаго, используя в качестве топлива сухое молоко, прессованное в брикеты (рис. 17). На дорогу длиною около 1500 км ему потребовалось две тонны молочного топлива. Как оказалось, сухое молоко очень неплохо горит, выделяя примерно столько же тепла, сколько каменный уголь.



Рис. 17. Молочные брикеты в топке паровоза

В начале тридцатых годов в мире разразился сильнейший кризис перепроизводства — Великая депрессия, в результате чего местные промышленники были вынуждены просто уничтожать кофе, чтобы хоть как-то увеличить цену на свой товар. Сотни тысяч мешков с зернами попросту утопили в море, пока бобовым не было найдено более разумное применение. В Бразилии молотый кофе стали прессовать в брикеты, используя их в качестве топлива для котельных и паровых двигателей [24].

Есть информация, об экспериментах в США по использованию в качестве топлива для паровозов т.н. биоугля. Коалиция за устойчивую ЖД (Coalition for Sustainable Rail, CSR) объявила о намерениях создать первый в мире углеродно-нейтральный высокоскоростной локомотив.

План Коалиции прост: «создать самый чистый в мире, наиболее мощный пассажирский локомотив, доказав жизнеспособность твердого биотоплива и новой технологии паровых локомотивов». Для достижения этой цели свои усилия объединили Институт окружающей среды Университета Миннесоты (University of Minnesota's Institute on the Environment, IonE) и некоммерческая корпорация Международная устойчивая ЖД (Sustainable Rail International, SRI). Планируется провести тесты технологии, и попытаться побить мировой рекорд скорости для паровых локомотивов.

Паровоз приспособлен для работы на так называемой «прожаренной биомассе» или биоугле. Технология известна еще с начала прошлого века, но не применялась ввиду высокой конкуренции со стороны ископаемых видов топлива. Биоуголь получают длительной выдержкой измельченной и разбавленной водой биомассы при температуре порядка 200°C и давле-

нии около 2,0 МПа. Энергоемкость биоугля примерно такая же, как и у обычного угля. Однако он является углеродно-нейтральным топливом, не содержит тяжелых металлов, при его сгорании образуется меньше дыма и пепла. Применение биоугля, таким образом, не применяется исключительно на локомотивах и может быть распространено на промышленность [25].

Есть данные об усилении внимания к паровым машинам и у российских специалистов. Цитируется по работе [26]: «Главный недостаток старого паровоза — низкий (до 10 %) КПД и более низкая мощность, чем у электровоза и тепловоза. Сегодня этот недостаток можно преодолеть установкой на эту машину газовой или паровой турбины, т.е. получить турбовозы с КПД от 20 до 80 %. Известно, что газовые и паровые турбины широко применяются в технике, но до нашего ЖД транспорта они еще не дошли.

Однако в США уже давно работают мощные газотурбовозы на грузовых перевозках по неэлектрифицированным ЖД.

Появление в России турбовозов приведет к большим изменениям на ЖД транспорте. Вместе с тем не всегда и не везде необходимы такие мощные локомотивы. Поэтому «второе дыхание» получит обычный паровоз.

Естественно, что новый паровоз будет иным по форме и содержанию, так как технические возможности для этого сегодня выше, чем раньше. К примеру, КПД паровых котлов старых паровозов едва достигал 60%, сегодня же он может достигать 85% и, возможно, больше. Соответственно, общий КПД и мощность нового паровоза будут выше.

Старый паровоз давал большой выброс в атмосферу дыма, пара, вредных продуктов сгорания. Сегодня уровень науки и техники позволяет сократить эти выбросы в сотни раз и сделать современный паровоз более безвредным для окружающей среды.

Старый паровоз имел ограниченный ходовой ресурс без дозаправки топливом и водой (в среднем до 150 км) и почти полное отсутствие механизации труда локомотивных бригад. Однако в США еще в 1984 году проводились испытания двух экспериментальных паровозов с современным оборудованием. В результате ходовой ресурс каждого из них составил по 800 км без дозаправки углем и 1800 км без дозаправки водой. На этих паровозах была полностью автоматизирована загрузка топлива, выгрузка золы и шлака, подача воды и т.д., а управление технологическими процессами на самих машинах осуществлялось с помощью микропроцессоров и другой электроники.

В свое время скорость старых грузовых паровозов уже достигала 100 км в час, а пасса-

жирских, особенно курьерских типа ПЗ6, могла достигать 150 - 180 км в час. Поэтому новые машины не будут в скорости уступать старым, а, наоборот, превзойдут их благодаря своей возросшей мощности. Именно такие машины и турбовозы могут сделать настоящий прорыв в ЖД транспорте и экономике страны.

Основные типы локомотивов, строительство которых может быть необходимо в будущем:

1-й тип. Большие магистральные турбовозы и паровозы в грузовом и пассажирском вариантах для федеральных, региональных и промышленных ЖД, в т.ч. на широкой колее для внутренних и международных грузопассажирских перевозок.

2-й тип. Маневровые, среднего класса, машины для работы на ЖД станциях, промышленных ЖД и предприятиях, лесозаготовках и т.д..

3-й тип. Современные мини-паровозы — по размерам подобные первым паровозам, для работы на промышленных и местных ЖД, а в будущем — и на сельских ЖД.

Все эти типы новых локомотивов найдут широкое применение во многих регионах России, но особенно в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока. Это связано с тем, что новый паровоз и турбовоз могут быть «полиглотами» и работать на нескольких видах дешевого и «многочисленного» топлива.

Так, уголь — главное топливо для этих локомотивов, имеется во многих регионах страны. В другие регионы его можно возить составами на турбовозах или новых паровозах, работающих на этом же угле. Одновременно данные машины могли бы участвовать в добыче своего топлива на угольных разрезах, что снизит его стоимость. Надо учитывать, что Россия обладает огромными запасами угля, которого ориентировочно хватит на 200 - 300 лет, — и это позволяет говорить о длительной перспективе использования новых машин.

Кроме того, топливом для них могут служить сырая нефть, газ, древесные отходы и мазут, использование которых даст реальное снижение стоимости перевозок, особенно в местах их добычи или переработки.

На местных, промышленных и возможных сельских ЖД топливом для паровозов будет торф и даже камыш, сено, солома в брикетах.

В будущем появятся и другие виды топлива для турбовозов и паровозов, причем в каждом регионе это могут быть местные виды».

В 2012 году американские изобретатели испытали небольшую паровую машину нового поколения «Циклон». Ее КПД оказался близким к

тому, с которым работают крупные паротурбинные электростанции в России. Специалисты из объединенной научной группы «Промтеплоэнергетика» Московского авиационного института, Московского энергетического института, Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии, Московского института энергобезопасности и энеросбережения и ККМТ ФТА предложили, как серийные поршневые двигатели внутреннего сгорания (автомобильные, тракторные и даже тепловозные) переделывать в современные паровые машины — так называемые паропоршневые двигатели [27].

#### Выводы.

1. Современный уровень развития науки и техники позволяет, используя новые технологические решения вернуться к идее парового двигателя в энергетике и на транспорте.

2. Харьков с его уникальной производственной базой и научной школой может и должен стать лидером в формировании экологически чистой и безотходной энергетики и ЖД транспорта Украины.

#### Литература

1. Карта железных дорог Украины. Подробная карта железнодорожного сообщения страны [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://www.raster-maps.com/map-of-ukraine-20>.

2. Семенов Н. Пути сообщения, проложенные по южному берегу Финского залива, между Санкт-Петербургом и Петродворцом в XVIII-XX столетиях [Электронный ресурс] / Н. Семенов. – Режим доступа: <http://www.ms-outlook.ru/text-archives-magazin/05/30>.

3. Биография одесской железной дороги [Электронный ресурс] // Труды одесского статистического комитета. – Одесса, 1865. – Вып. 1. – 316 с. – Режим доступа: [http://baltatown.narod.ru/railroadbio\\_skalk.htm](http://baltatown.narod.ru/railroadbio_skalk.htm).

4. История Одесской железной дороги (первоначально – Одесса-Балта) [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://baltatown.narod.ru/4.htm>.

5. Януш Л.Б. Русские паровозы за 50 лет [Текст] / Л.Б. Януш. – Москва-Ленинград: Ленинградское отделение машгиза: Редакция литературы по машиностроению, 1950. – 138 с.

6. Антонюк Т.С. Формування та експлуатація паровозів на Одеській залізниці (1864-1917 рр.) [Текст] / Т.С. Антонюк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Історія науки і техніки. – 2013. – № 68. – С. 16 - 26.

– Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpiint\\_2013\\_68\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpiint_2013_68_5).

7. Омеляненко В.И. Кафедра электрического транспорта и тепловозостроения — правопреемница кафедр паровозостроения и локомотивостроения [Текст] / В.И. Омеляненко, В.Г. Маслиев // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ», 2009. – Вип. 47. – С.164 - 179.

8. Савчук И. Влияние экспортной ориентации железнодорожного транспорта Украины на его развитие за годы независимости [Текст] / И. Савчук // Экономика Украины. – 2012. – № 7. – С. 36 - 44.

9. Козаченко Д.Н. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте [Текст] / Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора, Н.И. Березовой // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2012. – №3. – С. 40 - 46.

10. Вантажний рухомий склад Укрзалізниця експлуатується понад нормативні терміни і потребує негайного оновлення [Електронний ресурс] / – Режим доступа: [http://uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/283048/](http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/283048/).

11. Транспорт і зв'язок України 2014: Статистичний збірник: [Електронний ресурс] // – Київ: Державна служба статистики України, 2015. – 204 с. – Режим доступа: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ8\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ8_u.htm)

12. Ломинога И.В. Зависимость основных показателей железнодорожного транспорта от энергоресурсов [Текст] / И.В. Ломинога // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 2 (84). – С. 48 - 50.

13. Реализация программы электрификации железных дорог позволит снизить себестоимость перевозок на 55 - 60% – «Укрзалізниця» [Электронный ресурс] / Факты и комментарии. – 2011. – Режим доступа: <http://fakty.ua/news/print/54364-realizaciya-programmy-elektifikacii-zheleznih-dorog-pozvolit-snizit-sebestoimost-perevozok-na-5560-ukrzhaliznytsya>.

14. Принадлежность тяги [Электронный ресурс] // Транспорт. – 2007. – № 2. – Режим доступа: <http://indpg.ru/transport/2007/02/22801.html>.

15. Парсегов С. Локомотивы на газе: окно возможностей [Электронный ресурс] / С. Парсегов, В. Солодовникова // Промтранс. – 2014. – № 5(7). – Режим доступа: [http://pokrovka-finance.com/smi/lokomotivi\\_na\\_gaze\\_okno\\_vozmoznostey\\_jurnal\\_promtrans\\_5\\_7\\_2014](http://pokrovka-finance.com/smi/lokomotivi_na_gaze_okno_vozmoznostey_jurnal_promtrans_5_7_2014).

16. Данияров Н.А. Пути повышения эффективности эксплуатации подвижного состава железных дорог [Текст] / Н.А. Данияров, С.К. Малыбаев, Т.К.Балгабеков, А.З. Акашев, А.К. Келисбеков // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2012. – Вип. 1, 2 (43). – С. 125 – 133.

17. Копытов В.В. Газификация твердых топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития [Текст] / В.В. Копытов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2011. – № 6(98). – С. 29 - 78.

18. Паровоз на угольной пыли [Текст] // Техника – Молодежи. – 1940. – № 11. – С. 19.

19. Сотников Е.А. Железные дороги мира из XIX в XXI век [Текст] / Е.А. Сотников. – М.: Транспорт, 1993. – 200 с.

20. Курихин О. Коломенский теплопаровоз [Текст] / О. Курихин // Техника – Молодежи. – 1980. – № 11. – С. 40 - 41.

21. Курихин О. Паровоз XXI века? [Текст] / О. Курихин // Техника – Молодежи. – 1987. – № 01. – С. 31 - 35.

22. Китай: последняя в мире страна паровозов [Электронный ресурс] / Толкователь. – 2011. – Режим доступа: <http://ttolk.ru/?p=4162>

23. Нездоймышапка Ю.Н. Оборудование для переработки лесосечных отходов и производства топливных брикетов [Текст] / Ю.Н. Нездоймышапка, С.В. Гридунов // Системотехніка і технології лісового комплексу. Транспортні технології: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 123. – Харків. – 2012. – С. 178 - 184.

24. Вкусное топливо: Молочные двигатели и кофейные поезда. [Электронный ресурс] / Популярная механика. – 2007. – Режим доступа: <http://popmech.ru/history/6021-vkusnoe-toplivo-molochnye-dvigateli-i-kofeynye-poezda/>.

25. Биоуголь – топливо для современного паровоза [Электронный ресурс] / FacePla.net. – 2012. – Режим доступа: <http://www.facepla.net/index.php/the-news/2404-biocoal>.

26. Будущее железных дорог – за паровозами? [Электронный ресурс] / Браславские озера. – Режим доступа: [http://leto-braslav.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=241:будущее-железных-дорог-за-паровозами&catid=31:parovoznaja](http://leto-braslav.com/index.php?option=com_content&view=article&id=241:будущее-железных-дорог-за-паровозами&catid=31:parovoznaja).

27. Трохин И.С. Паровые поршневые машины нового поколения [Текст] / И.С. Трохин // Академия энергетики. – 2013. – №4 (54). – С. 50 - 52.



Анотація

## Еволюція двигунів локомотивів залізних доріг в Україні і світі: історичні аспекти

І.М. Криленко, Е.А. Макогон, І.А. Черепнев, Г.В. Фесенко, Н.А. Винокуров, О.П. Иванова

У статті проведено дослідження окремих аспектів розвитку залізничного транспорту на території України і підготовки кадрів залізничників. Представлений ретроспективний огляд паровозобудування від перших парових машин до сучасних газогенераторних двигунів, формування залізничного транспорту майбутнього.

Сучасна конфігурація залізничної колії України в основному сформувалася ще в складі Російської Імперії, чому сприяло географічне положення краю, його природні багатства.

Авторами розглянуті кілька варіантів підвищення ефективності функціонування і зниження витрат на паливо і енергію в загальному обсязі експлуатаційних витрат залізниць.

Аналіз даних за загальним обсягом випуску паровозів заводами Російської Імперії показує, що найбільша кількість паровозів було випущено саме в Харкові. Слід зазначити, що основною проблемою для українських залізниць в даний час є не стільки зменшення локомотивного парку в цілому, а значний його знос. Проведений аналіз розподілу рухомого складу по роках випуску свідчить про істотно недовикористання потенціалу залізниць країни в XXI столітті.

Більш кращим може виявитися варіант розробки мультитопливного залізничного локомотива.

Результати досліджень довели, що парова машина здатна працювати практично на будь-якому паливі, яке згорає: торф, вугілля, нафта, мазут, дрова, тощо і т. Сучасний рівень розвитку науки і техніки дозволяє, використовуючи нові технологічні рішення повернутися до ідеї парового двигуна, як в енергетиці так і на транспорті.

Харків з його унікальною виробничою базою і науковою школою може стати лідером у формуванні екологічно чистої і безвідходної енергетики та залізничного транспорту України.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, безвідходна енергетика, локомотив, парова машина, навчання залізничників, паровий двигун.

Abstract

## Evolution of the impellent installations train locomotives in Ukraine and the world: historical aspects

I.M. Krylenko, E.A. Makogon, I.A. Cherepnev, G.V. Fesenko, N.A. Vinokurov, O.P. Ivanova

The studying of particular aspects of railway transport development on the territory of Ukraine and training of railwaymen was carried out in the article. It is given a retrospective review of locomotive building from the first steam engines to modern gas engines, the formation of a railway transportation of the future.

Modern configuration of Ukrainian railways network basically was formed even in the Russian Empire, because of good geographical position of the region, its natural resources.

The authors have considered several options to enhance the functioning and reducing the cost of fuel and energy in the total railways operating costs.

The analysis of data on the total steam locomotive production plants of the Russian Empire shows that the largest output number of steam locomotives was in Kharkiv. It should be noted that the main problem for Ukrainian Railways at the present time is not so much the reduction in the locomotive fleet as whole and significant equipment deterioration. The analysis of the average rolling stock per year production indicates substantial underutilization of the country's railways potential in the XXI century.

More preferred may be a variant of development of multi-fuel locomotive.

The research results proved that the steam machine can run on any fuel that burns: peat, coal, crude oil, fuel oil, firewood, etc. The present level of science and technology with using new technological solutions makes it possible to come back to the idea of the steam engine, as in the energy and transport.

Kharkiv with its unique industrial base and scientific school can become a leader in the formation of clean and waste-free energy and railway transport of Ukraine.

**Key words:** railway transport, waste-free energy, locomotive, steam machine, training of railwaymen, steam engine.

Представлено: Є.Є. Олександров / Presented by: Ye.Ye. Aleksandrov

Рецензент: А.Т. Лабедєв / Reviewer: A.T. Lebediev

Подано до редакції / Received: 14.04.15