

Евгений Лосев

ТЕПЛОВОЗЫ

Вехи непройденного пути



Евгений Лосев
ТЕПЛОВОЗЫ. Вехи
непройденного пути.
Издание второе,
переработанное и дополненное

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=48897330
ISBN 9785005096562

Аннотация

Книга посвящена тепловозам с непосредственным приводом осей и компрессорной передачей. Написана простым доступным языком, содержит большое количество иллюстраций и справочного материала. Подробно описывается конструкция этих редких машин и их узлов, приводятся основные технические характеристики. Предназначена для специалистов тепловозной тяги и любителей железных дорог. Может быть полезна студентам железнодорожных учебных заведений и лицам, интересующимся историей железнодорожного транспорта.

Содержание

ОТ АВТОРА	5
ВВЕДЕНИЕ	10
Глава I	27
1.1. Локомотивы на сжатом воздухе	27
1.2. Зарубежные пневмолокомотивы	31
1.3. Духоход Барановского	104
Глава II	111
2.1. Проблема создания тепловоза с непосредственным приводом и пути её решения	111
Конец ознакомительного фрагмента.	120

**ТЕПЛОВОЗЫ. Вехи
непройденного пути
Издание второе,
переработанное
и дополненное**

Евгений Лосев

Рецензенты А.Г. Иоффе, В.С. Руднев

Фото на обложке Tony Hisgett

© Евгений Лосев, 2019

ISBN 978-5-0050-9656-2

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

ОТ АВТОРА

Уважаемый читатель!

Перед Вами книга о мало освещаемой в современной технической литературе странице истории тепловозостроения, представляющей почти забытые ныне типы тепловозов, в частности, тепловозы с непосредственным приводом движущих осей от двигателя внутреннего сгорания, которым свойственна простота конструкции и то, что теоретически они имеют самый высокий коэффициент полезного действия на ободу колёс из всех известных тепловых локомотивов. Поэтому конструкторы первых тепловозов не случайно стремились применить для них именно такой привод. Известно множество проектов, выполненных как в России, так и за рубежом, некоторые из которых воплотились в металл. Ряд спроектированных конструкций выглядели вполне работоспособными, однако технология производства первой половины прошлого столетия не позволяла их осуществить. Это, в частности, касается генераторов газа и дизель-компрессоров со свободно движущимися поршнями – оригинальных тепловых машин, которым посвящена отдельная глава. Позднее, уже в 50-х годах XX века во Франции и СССР были построены экспериментальные газотурбинные локомотивы со свободнопоршневыми генераторами газа. Эти локомотивы также описаны в данной книге.

В реальности эксплуатационный коэффициент полезного действия тепловозов с непосредственным приводом зачастую оказывался ниже, чем наиболее распространённых и хорошо известных сейчас тепловозов с электрической передачей. Это объясняется тем, что при непосредственном приводе дизель вступает в работу не сразу, а по достижении определённой скорости, развиваемой локомотивом, который до этого момента приводится в движение сжатым воздухом или паром¹. Время работы тепловоза на этих малоэкономичных источниках энергии зависело от конкретных условий эксплуатации, но так или иначе это снижало коэффициент полезного действия тепловоза, особенно при разгоне паром. Разновидность тепловозов с непосредственным приводом, использующих для разгона пар, обычно выделяется в самостоятельный тип локомотива, известный как теплопаровоз. Основные различия описываемых в этой книге конструкций тепловозов с непосредственным приводом заключаются в способе трогания локомотива с места и его разгона. В основном своём варианте тепловозы с непосредственным приводом разгоняются при помощи сжатого воздуха, для чего на них устанавливается вспомогательный дизель-компрессор.

Вообще сжатый воздух как рабочее тело для привода в движение транспортных средств начал применяться гораздо раньше, чем появились первые тепловозы. Кроме то-

¹ Реже – каким-либо другим двигателем.

го, на некоторых тепловозах, называемых компрессорными, привод сжатым воздухом – чистым или в смеси с паром или продуктами сгорания двигателя – являлся основным. Поэтому книга была бы неполной без описания первых пневмокомотивов, а также компрессорных тепловозов.

И хотя большинство тепловозов с непосредственным приводом для трогания и разгона используют сжатый воздух или пар, известны также тепловозы, которые трогаются и разгоняются при помощи гидродинамических аппаратов. В этом случае привод содержит гидравлическое звено, используемое для трогания и разгона, и механическое, которое используется в диапазоне средних и высоких скоростей движения, причём в механической части отсутствует коробка скоростей; таким образом, получается тепловоз с постоянным соединением двигателя и движущих колёсных пар, т. е. с непосредственным приводом. Благодаря использованию гидравлических устройств для разгона, общий коэффициент полезного действия тепловоза, у которого непосредственный привод совмещён в одной конструкции с гидравлическим, может оказаться выше, чем тепловоза с непосредственным приводом, использующего для разгона сжатый воздух или пар. Примером простейшей конструкции такого типа является наличие гидромуфты, располагаемой между фланцем дизеля и отбойным валом тепловоза.

Написать эту книгу побудили научные изыскания, проведённые автором в 2013 – 2014 гг. при разработке двигате-

ля внутреннего сгорания с регулируемым крутящим моментом².

Именно тесная взаимосвязь между непосредственным и компрессорным приводом осей навела автора на мысль объединить эти два принципиально разных элемента силовой установки в единый агрегат, получивший название «Транспортный двигатель внутреннего сгорания с автоматическим регулированием крутящего момента». На базе этого двигателя разработана силовая установка, обладающая, по мнению автора, высокой теплотехнической эффективностью, что делает её перспективной для применения на тепловозах.

Название книги «Тепловозы. Вехи непройденного пути» как бы подчёркивает незавершённость того пути, по которому шли создатели чрезвычайно интересных локомотивов, описанных в данной книге, не получивших в своё время распространения на железных дорогах. Возможно, этот путь ещё предстоит пройти.

Чтобы дать читателю возможность получить более полное представление обо всех упомянутых локомотивах, автором предпринята попытка обобщить имеющийся в его распоряжении по этой теме довольно обширный, но разрозненный материал из различных печатных источников³, многие из которых стали уже библиографической редкостью,

² В результате этих работ получено два патента.

³ Этим объясняется большой объём книги.

дополнив его в конце книги собственными разработками. В этой заключительной части книги автор попытался по-новому взглянуть на проблему создания тепловоза с непосредственным приводом и с этой точки зрения показать возможные перспективы развития локомотивов этого типа.

Кое-что удалось найти в интернете. В большинстве своём это англоязычные сайты, которые автор перевёл на русский язык, чтобы эти материалы можно было поместить в книгу.

При описании конструкций тепловозов и их систем автор старался использовать современную терминологию, но иногда приходилось придерживаться оригинальной терминологии источника, как правило, для обозначения той или иной системы тепловоза так, как их называли сами конструкторы.

ВВЕДЕНИЕ

Если проследить более чем вековую историю тепловозостроения, то можно увидеть два направления его развития.

Стремясь к упрощению и удешевлению тепловоза, многие инженеры искали решения в непосредственном действии двигателя внутреннего сгорания на движущие колёса. Проектов тепловозов непосредственного действия и их разновидностей, в которых движущие колёса приводятся во вращение прямо от двигателя внутреннего сгорания или с помощью фрикционных муфт, выполнено большое количество, некоторые из них даже были реализованы в виде опытных машин. Однако в целом это направление распространения не получило, и тепловозостроение пошло по другому пути развития.

Сторонники другого направления занимались поиском пригодной для условий локомотивной службы комбинации уже испытанных агрегатов и хорошо известных конструктивных элементов. Инженеры, работавшие в этом направлении, исходили из существующих свойств первичного двигателя внутреннего сгорания и изыскивали возможности применения его для тяги поездов путём использования промежуточных передач – электрической, гидравлической, пневматической, зубчатой, смешанной, играющих роль трансформатора частоты вращения и крутящего момента, передаваемо-

го двигателем внутреннего сгорания движущим осям. Наибольшее распространение во всём мире получила электрическая передача. Доля тепловозов с электрической передачей составляет около 80% общего парка дизельных локомотивов. В меньшей степени применяются гидравлическая, гидромеханическая и механическая передачи.

Первые магистральные тепловозы, появившиеся в России, также имели электрическую передачу, позднее к ним добавился тепловоз с механической передачей. Этому пути развития тепловозостроения положили начало русские инженеры – профессора Я. М. Гаккель и Ю. В. Ломоносов.

Чтобы понять, почему до сих пор не удалось создать работоспособный тепловоз с непосредственным приводом движущих осей, полностью отвечающий всем требованиям тяги, следует кратко остановиться на особенностях и вытекающих из них основных свойствах двигателей внутреннего сгорания.

Среди существующих тепловых машин двигатель внутреннего сгорания обладает самым высоким коэффициентом полезного действия (к. п. д.), поскольку при сгорании топлива внутри цилиндра достигается высокая температура в процессе подвода тепла к рабочему телу. При этом сам процесс сопровождается меньшими тепловыми потерями, чем в случае внешнего подвода тепла. Наибольшая тепловая эффективность достигается у двигателя с самовоспламенением от сжатия, называемого дизелем по имени его создателя Ру-

дольфа Дизеля. В дизелях происходит наиболее экономичное сжигание топлива, что делает эти двигатели особо привлекательными для применения на локомотивах. Если в паровозах при всех теплотехнических мероприятиях, которые только можно было осуществить, не удалось поднять к. п. д. выше 9%, то современные дизели работают с к. п. д. более 40%.

Вместе с тем двигатель внутреннего сгорания не может быть приведён в действие при неподвижных поршнях и совершать работу при низких скоростях их перемещения. Для трогания поезда с места и его разгона до скорости, когда двигатель начинает работать самостоятельно, необходим посторонний источник энергии. Это является одной из причин того, что локомотивы с двигателями внутреннего сгорания должны иметь промежуточную передачу между дизелем и колёсными парами, что увеличивает стоимость локомотива и расходы по его содержанию и ремонту.

Другой причиной применения промежуточной передачи является то, что двигатель внутреннего сгорания не обладает достаточно гибкой внешней характеристикой, требующейся машине транспортного назначения. Это происходит потому, что особенности его рабочего процесса, вытекающие из постоянства среднего индикаторного давления во всём скоростном диапазоне, не позволяют изменять в широких пределах момент на валу отбора мощности при изменении частоты вращения вала. Чтобы расширить эти пределы тре-

буется форсировать двигатель, что приводит к его перегрузке. Однако дизель не переносит большой перегрузки, так как в этом случае в рабочих цилиндрах развиваются чрезмерно высокие температуры и давления. Поэтому непосредственное соединение вала двигателя с движущими осями локомотива не обеспечивает регулирование силы тяги в необходимых пределах.

Неудачный опыт с самым первым магистральным дизельным локомотивом с непосредственным приводом – тепловозом Общества Diesel-Klose-Sulzer – заставил представителей этого направления искать пути изменения свойств двигателя внутреннего сгорания и создания цикла, пригодного для локомотива.

Попытки создания тепловоза с непосредственным приводом в России предпринимали В. И. Гриневецкий, А. И. Липец, И. Ф. Ядов, М. И. Пригоровский, Е. Е. Лонткевич, Г. К. Хлебников и ряд других изобретателей и учёных.

Осуществить непосредственную передачу вращающего момента дизеля на оси тепловоза пытались и в других странах. Однако построенные за границей тепловозы также оказались плохо приспособленными к требованиям эксплуатации. У опытных тепловозов этого типа при переходе машин на работу по циклу Дизеля происходили резкие взрывы, не хватало воздуха или пара на разгон и т. д.

У тепловоза с непосредственным приводом, использующим для трогания с места сжатый воздух или пар, степень

экономического эффекта по сравнению с тепловозами, имеющими передачу, зависит от скорости, при которой получается устойчивый, надёжный процесс сгорания. Чем меньше эта скорость, тем меньший требуется вспомогательный дизель-компрессор или паровой котёл для разгона поезда, тем больший период времени двигатель тепловоза может работать по дизельному циклу с высоким коэффициентом полезного действия.

Электрическая и другие виды применяемых в настоящее время передач полностью устраняют все трудности пуска в ход и гарантируют в большей или меньшей степени необходимую эластичность тяговой характеристики. Но тепловозы с передачами имеют существенные недостатки, от которых избавлен только тепловоз с непосредственным приводом.

Отрицательные качества тепловозов с передачей заключаются главным образом в необходимости иметь две различные энергетические системы на одном локомотиве с меньшей последующей отдачей мощности на ободу колёс и в более сложном регулировании. Тепловоз с передачей при значительном увеличении веса локомотива требует больших расходов на техническое обслуживание, увеличения длительности простоев в цехах для ремонта с одновременным ростом числа заходов на ремонт, необходимости более широкого применения специализированного персонала. Всё это снижает экономическую эффективность локомотива в целом.

Тепловозы с непосредственным приводом лишены этих отрицательных качеств, но такие локомотивы трудно осуществить на практике именно из-за сложности приведения в движение дизеля под нагрузкой и его неспособностью тянуть поезд на низких скоростях и сообщать ему необходимое ускорение.

При электрической передаче повышение веса локомотива выражается примерно в 25%, а первоначальной стоимости – в 33%, при гидравлической передаче – в 10 и 20%, соответственно, при механической передаче – в 12 и 15%.

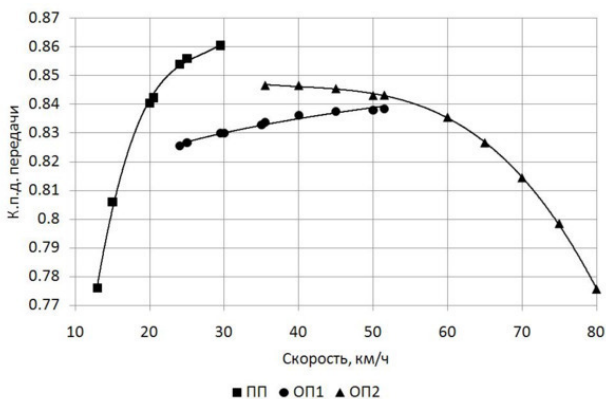
Совершенно естественно, поэтому, стремление устранить совсем это промежуточное звено и осуществить непосредственный привод, т. е. передавать вращающий момент от двигателя на колёса непосредственно, подобно тому, как это осуществляется на паровозе.

Всякая передача отнимает у двигателя какую-то долю его мощности, затрачиваемую на трение передаточных частей механизма и на покрытие других потерь.

Электрическая передача, обеспечивающая хорошие тяговые свойства, громоздка, обладает значительным весом, требует расхода дорогих и дефицитных цветных металлов (главным образом меди) и дополнительной затраты мощности. Так, потери мощности от выходного вала дизеля до движущих колёс составляет до 20% номинала из-за потерь в главном генераторе, тяговых электродвигателях и преобразователях, затрат мощности на системы возбуждения и вентиля-

ции электрических машин. По этой причине снижается эксплуатационный к. п. д. тепловоза.

Неизбежный разброс электромеханических характеристик тяговых электродвигателей приводит к повышению вероятности перегрева наиболее нагруженных из них и преждевременному срыву сцепления колёсных пар, приводимых во вращение этими двигателями. Для предотвращения бокования приходится применять специальные противобоксочные устройства. Таким образом, электрическая передача значительно усложняет конструкцию и увеличивает стоимость тепловоза, а также усложняет его эксплуатацию и ремонт.



Коэффициент полезного действия

электрической передачи тепловоза ТЭЗ⁴.

Ограничение габаритов и массы применяемых тяговых электрических машин при необходимости повышения агрегатной мощности и момента привело к увеличению нагрузки активных элементов тяговых электродвигателей и, как результат, к интенсификации вентиляции с целью обеспечить заданный ресурс.

Интенсификация вентиляции и использование конструктивных материалов, допускающих более высокие нагрузки, неизбежно ведёт к возрастанию затрат энергии на охлаждение при эксплуатации тягового электродвигателя и повышению его цены. С ростом секционной мощности энергетических установок тепловозов эти затраты возрастают с 1% – у тепловозов серий ТЭМ1 и ТЭМ2, до 4,5% и 6%, соответственно, – у тепловозов 2ТЭ116 и ТЭ136.

Анализ паспортных тяговых характеристик тепловозов с электрической передачей показывает, что мощность тепловоза ТЭЗ на обode колёс составляет $77 \div 86\%$ (в среднем 83%) от мощности, реализуемой на валу дизеля. У тепловозов 2ТЭ10 различных модификаций аналогичные показатели составляют, соответственно, $80 \div 87$ (85) %, а у 2ТЭ116 – $82 \div 88$ (87) %. Приведённые данные относятся к максимальным позициям контроллера машиниста (16-й у ТЭЗ и 15-й

⁴ ПП, ОП1, ОП2 – ступени ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

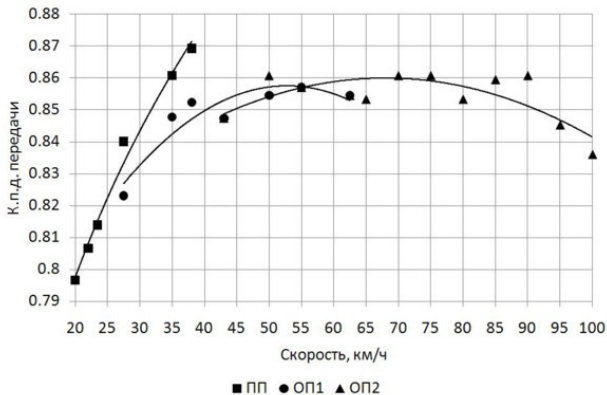
у 2ТЭ10 и 2ТЭ116)⁵.

Для сравнения интересно посмотреть данные, полученные из материалов испытаний тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В. Эти данные, приведённые в виде гистограмм частотных распределений потерь мощности в электрической передаче в реальных условиях работы тепловозов с учётом переменных режимов и переходных процессов в энергетической цепи, являются несколько завышенными, потому что из показанных потерь не выделены затраты мощности на вспомогательные нужды тепловоза.

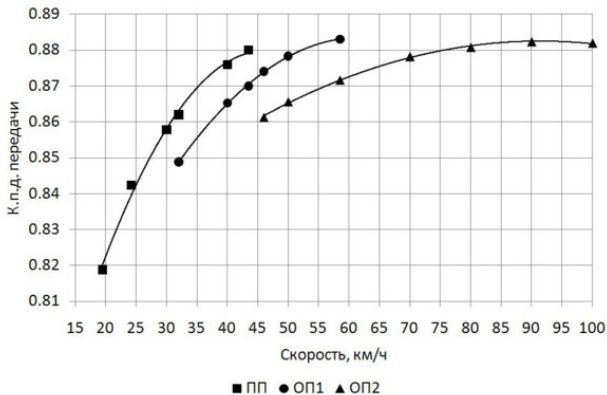
Нивелируя эти неточности, можно обратить внимание на то, что паспортные и экспериментальные данные не противоречат друг другу. Таким образом, видно, что современные тепловозы с электрической передачей непроизводительно теряют 15 – 20% энергии, вырабатываемой дизелем, и, соответственно, примерно на эту же величину у них должен возрасти расход топлива по сравнению с тепловозами, имеющими непосредственный привод⁶.

⁵ Сюда не включены относительные затраты мощности на вспомогательные нужды за исключением системы охлаждения тяговых электрических машин. Последние затраты учитываются потому, что являются неизбежными при электрической передаче и отсутствуют у тепловозов других систем, в том числе и с непосредственным приводом движущих осей. Поэтому можно считать, что эти данные соответствуют к. п. д. электропередачи с учётом затрат мощности на охлаждение тяговых электрических машин.

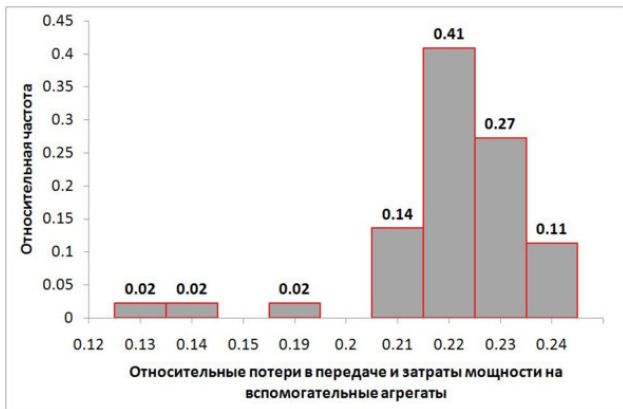
⁶ Конечно, при этом предполагается одинаковая экономичность тепловых двигателей тех и других тепловозов.



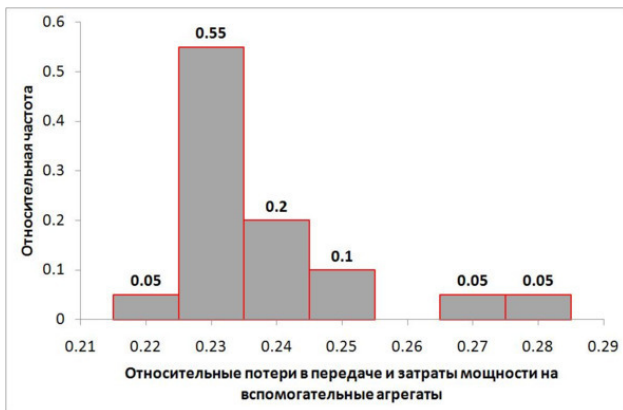
Коэффициент полезного действия электрической передачи тепловоза 2ТЭ10.



Коэффициент полезного действия электрической передачи тепловоза 2ТЭ116.



Относительные потери мощности дизеля в электропередаче и вспомогательном оборудовании тепловоза 2ТЭ10Л.



Относительные потери мощности дизеля в электропередаче и вспомогательном оборудовании тепловоза 2ТЭ10В.

Гидравлическая передача имеет меньший вес, не требует расхода цветных металлов, однако она обладает более низким коэффициентом полезного действия. Соответственно, здесь в ещё более выраженном виде будут проявляться те потери, которые наблюдаются у тепловозов с электрической передачей. В нашей стране тепловозы с гидropередачей не получили сколько-нибудь заметного распространения. Исключением, пожалуй, являются железные дороги Сахалина, где в силу габаритных ограничений тепловозов более узкой колеи затруднено размещение электродвигателей требуемой мощности. Также тепловозы с гидropередачей нашли применение на промышленном транспорте. Наибольшее распространение тепловозы с гидropередачей получили в Германии, но и там в последнее время наблюдается тенденция перехода на локомотивы с асинхронным электроприводом.

Наименьшие потери имеем в механической передаче (коробка скоростей с редукторно-карданным приводом), но здесь отсутствует возможность непрерывно изменять силу тяги во всём диапазоне её регулирования. Переключения ступеней сопровождаются провалами силы тяги и большими динамическими нагрузками в передаче, поэтому ме-

ханическая передача неприменима для тепловозов большой мощности. Аналогично, ограниченная только малыми мощностями, передача сцеплением с использованием фрикционной муфты также не подходит для средних и больших мощностей.

Из вышесказанного следует, что проблему тепловоза нельзя считать окончательно решённой применением передач. Правда, многократные попытки решить проблему иным путём до сих пор не привели к успеху, но каждая из этих попыток, обнажая новые и новые противоречия, ближе и ближе ведёт к цели. Появившись в своё время как вынужденная мера, которая была необходима для скорейшего освоения дизельной тяги, тепловозные передачи сыграли и продолжают играть немаловажную роль в развитии тепловозостроения. Но задача создания более простого и дешёвого тепловоза никуда не делась и ждёт своего решения.

Двигатели, предназначенные для локомотивной службы, должны иметь рабочую характеристику, близкую к характеристике паровозной машины, которая для автономного локомотива является наиболее подходящей. Необходимо, чтобы тяговый двигатель внутреннего сгорания мог в широких пределах изменять среднее индикаторное давление, плавно изменять частоту вращения, имея возможность воспламенить топливо при весьма низкой скорости. Он должен быть простым, надёжным в эксплуатации и дешёвым.

Наличие такого двигателя дало бы возможность постро-

ить тепловоз, у которого поршень был бы связан шатуном с ведущими колёсами непосредственно или же через отбойный вал. Несомненно, что тепловоз с таким двигателем наиболее целесообразно и просто разрешит проблему применения его как тяговой единицы на железнодорожном транспорте. Трудности создания такого двигателя состоят не только в видоизменении существующих конструкций двигателей, но, главным образом, в изменении их рабочих процессов.

Опыт показал, что создать тепловоз, имеющий прямую связь дизеля с колёсами, несмотря на всю заманчивость этой идеи, – задача чрезвычайно трудная, и поэтому такие тепловозы до сих пор не нашли практического применения. Но если бы тепловозы с непосредственным приводом, имеющие требуемые тяговые свойства, были созданы, то значение их трудно было бы переоценить. Победа в этой области тепловозостроения имела бы большое значение. Думается, что сегодня, опираясь на современные технологии, можно было бы избежать ошибок создателей первых тепловозов с непосредственным приводом и по-новому решить проблему создания такого тепловоза.

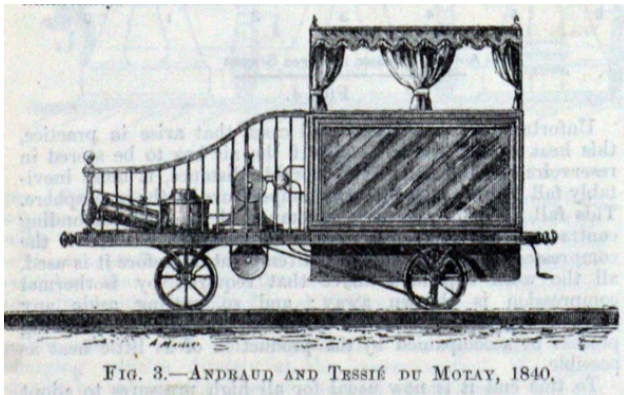
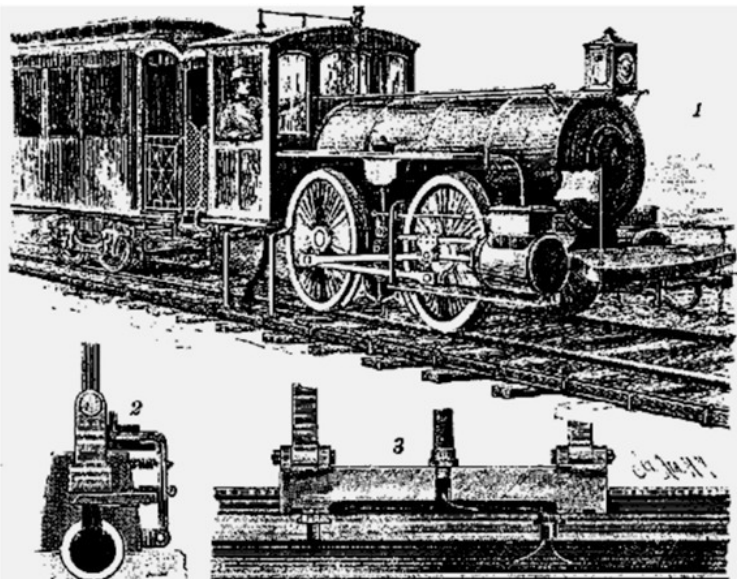


FIG. 3.—ANDRAUD AND TESSIÉ DU MOTAY, 1840.



TOMLINSON'S APPARATUS FOR SUPPLYING COMPRESSED AIR TO LOCOMOTIVES.

Глава I

ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ТЕПЛОВОЗОВ

1.1. Локомотивы на сжатом воздухе

Сжатый воздух используется с XIX века для привода локомотивов, работающих на предприятиях горной промышленности. Помимо этого, в некоторых городах сжатый воздух использовался для привода трамваев, питавшихся от центральной общегородской пневматической распределительной сети. Первые пневматические локомотивы появились всего лишь на 15 – 20 лет позже стефенсоновского паровоза как альтернатива паровой тяге.

Пневмоустановки получили широкое применение там, где дым, искры и пар из куда более эффективной паровой машины были неприемлемы (на городских улицах и внутри угольных шахт) в то время, когда электричество ещё не было распространено в качестве источника энергии для двигателей. По мере развития электроэнергетики локомотивы с двигателями, работающими на сжатом воздухе, были постепенно заменены электрической тягой.

Локомотивы, работающие на сжатом воздухе, приводят-

ся в движение пневмодвигателями. Такой привод называется пневматическим. Эти локомотивы появились намного раньше, чем были выполнены проекты первых тепловозов. Пневмодвигатели имеют один или несколько цилиндров, в которых перемещаются поршни. Пневмодвигатели принципиально по конструкции очень похожи на паровые машины или гидродвигатели. Воздух перед впуском в двигатель целесообразно нагревать для повышения отдачи энергии. Особенно это актуально с учётом того, что расширяющийся в пневмодвигателе воздух охлаждается. У пневмолокомотивов отсутствует собственный генератор энергии, они используют готовую энергию в виде сжатого воздуха, приготовляемого на зарядных станциях. Вместо сжигания смеси топлива с воздухом в двигателе и последующей передачи энергии поршням от горячих расширяющихся газов, в пневматических локомотивах передача энергии поршням осуществляется от сжатого воздуха, запасённого в баллонах. Баллоны для хранения сжатого воздуха разрабатываются в соответствии с требованиями безопасности для сосудов, работающих под давлением. Принципиальным недостатком является не прямое использование энергии. Сначала энергия используется для сжатия воздуха, а потом от сжатого воздуха передаётся двигателю. Каждое преобразование энергии осуществляется с потерями, что обуславливает более низкий коэффициент полезного действия пневмолокомотивов чем, например, дизельных или, тем более, электротранспорта.

Принцип действия пневматических локомотивов впоследствии был положен в основу компрессорной передачи тепловозов. Поэтому пневмолокомотивы можно с полным правом считать предшественниками компрессорных тепловозов и тепловозов с непосредственным приводом, разгоняющихся сжатым воздухом.

При использовании на локомотивах сжатого воздуха в качестве рабочего тела возникает ряд проблем. Сжатый воздух имеет низкую энергетическую плотность. С учётом возможности нагрева воздуха его энергетическая плотность при давлении 300 ат⁷ не превышает 30 кВтч/м³, что сопоставимо с ёмкостью электрохимических свинцовых аккумуляторных батарей. Однако по мере разряджения батарей напряжение на их выходах падает относительно слабо. В то же время, давление на выходе из баллонов будет падать по мере расходования воздуха, если не принять специальных конструктивных мер, например, использовать резервуар с переменным рабочим объёмом. В этом случае по мере расходования воздуха объём будет уменьшаться, а давление оставаться примерно постоянным. Сжатие газа генерирует большое количество тепла, и вся эта энергия теряется при хранении воздуха, когда он остывает. Эти потери могут быть уменьшены,

⁷ Как известно, давление бывает абсолютным и избыточным. Разница между ними 1 атмосфера. Здесь и далее, в тех случаях, когда автору неизвестно, о каком из этих давлений идёт речь, размерность соответствующей величины обозначается просто «ат» (техническая атмосфера, 1 ат ≈ 0,1 МПа). В противном случае указывается «ата» или «ати», соответственно.

если сжимать воздух в двух или более ступенях, охлаждая его между ступенями, но всё равно потери будут оставаться значительными. С другой стороны, в процессе, использующим сжатый воздух для работы двигателя, главной проблемой является получение работоспособной системы. Когда газ расширяется, он охлаждается, и если запасённый воздух не является совершенно сухим (а это так и есть), в трубопроводе и цилиндрах двигателя влага начнёт замерзать, и двигатель скоро прекратит работу и остановится. Сжатый воздух, используемый в двигателе локомотива, смешивается со смазкой, применяемой для уменьшения сил трения и снижения износа пневмооборудования, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Большим преимуществом пневматических локомотивов, правда, редко используемым на практике, является обратимость пневмодвигателя, возможность перевода его в компрессорный режим и, тем самым, осуществление рекуперации энергии торможения, что в энергетическом смысле аналогично применению рекуперативного торможения на электровозах.

1.2. Зарубежные пневмолокомотивы

Пневмолокомотивы Андро и дю Мотай. Первое фактически осуществлённое пневматическое рельсовое транспортное средство было построено М. Антуаном Андро и Тесси дю Мотай (полное имя Киприен-Мари Тесси дю Мотай) в 1839 г. на заводе Chaillot в Париже, Франция, и испытано в 1840 г. Давление в запасующих баллонах составляло 17 ат, а давление двигателя – 3 ат, что предполагает использование редуccionного клапана.

В 1844 г. М. Андро построил локомотив 1-1-1 массой 5 т с одним клёпаным воздушным резервуаром, вмещавшим 3 м³ воздуха при давлении 21 ат. Впервые он был испытан в 1844 г. на версальском левобережном треке, проходя обратный путь длиной 3,2 км со скоростью от 27 до 32 км/ч.

Из патента 1841 г. мы узнаём, что Андро и Тесси дю Мотай основались на улице Шаброль, 35 в Париже; эта дорога до сих пор существует и лежит к юго-западу от Гар дю Нор, где заканчивается маршрут тоннельных поездов из Великобритании. Предполагается, что приведённая иллюстрация локомотива Андро относится к этой машине.

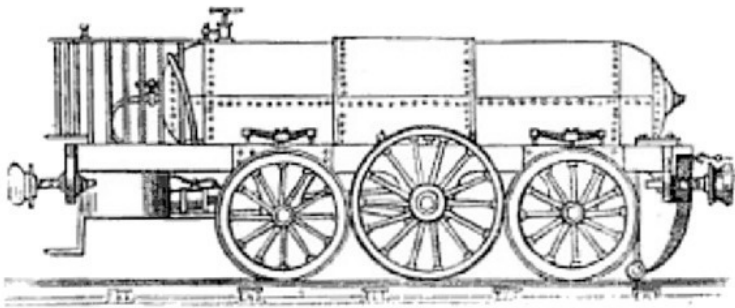


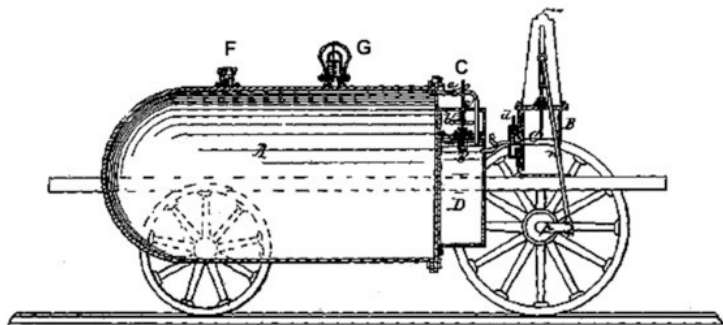
Fig. 16 bis. Locomotive à air comprimé de M. Andraud.

Пневмолокомотив Андро. 1844 г. Изображение из Энциклопедии католиков, Parent-Desbarres, 1845.

Ёмкость резервуара составляла от 8 до 10 м³ при давлении до 20 ат. Похоже, что цилиндры были внутри рамы сзади и действовали на среднюю ось. Энциклопедия утверждает, что локомотив был «двойного действия»; это может означать или что цилиндры были двойного действия, или что использовалось компаундное расширение. Вероятно, это было сделано впервые; если компаундное расширение действительно использовалось, то оно было применено на 50 лет раньше Ходжеса и Портера (см. ниже).

Пневматический локомотив Парси. В 1839 г. Артур Парси получил английский патент (№8,093) на локомотив, приводимый в движение сжатым воздухом. После им было

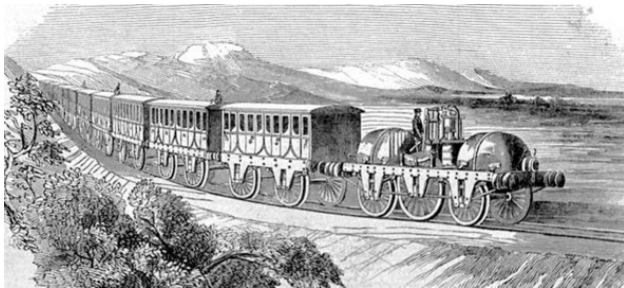
получено ещё два английских патента: в 1844 г. и 1854 г. (№88). Он также получил американский патент (№5,205) в 1847 г.



Пневматический локомотив Парси. 1847 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Резервуар А заполнялся воздухом, «сжатым до такой степени, как это было совместимо с безопасностью», который питал камеру ресивера D, давление в двигателе поддерживалось автоматическим редуциционным клапаном С, через который воздух по трубам подавался в шпильевидный вертикальный двигатель двойного действия В. Использование ресивера пониженного давления между основным (запасяющим) резервуаром и двигателем вначале было характерно для многих подобных устройств. Парси планировал использовать давление в основном резервуаре от 70 до 140 ат при давлении в двигателе 4,2 ат. Клапан F служил для за-

рядки воздухом, а G являлся предохранительным клапаном. Двигатель имел два цилиндра, чтобы предотвратить проблемы с мёртвой точкой. Локомотив предназначен для работ на угольных шахтах, где отсутствие дыма и огня было бы большим преимуществом. Изображение взято из американского патента.

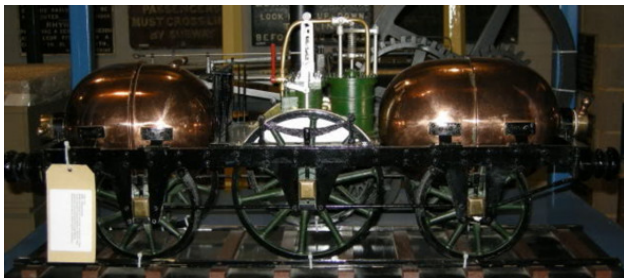


Современная иллюстрация локомотива на сжатом воздухе

Парси. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Локомотив является точным представлением модели, показанной ниже. Йоркский железнодорожный музей уверенно заявляет, что полномасштабная версия не была построена. Эта сцена является воображаемой, и, конечно, не показывает работу в угольной шахте. Это изображение появилось в «Иллюстрированных лондонских новостях» за 28 февраля 1846 г., стр. 140, во главе статьи, оза-

главленной «Пневматический двигатель Парси», в которой было заявлено про утверждение Парси, что максимальная скорость может варьироваться от 20 до 100 миль в час (32 ÷ 160 км/ч) за счёт изменения давления в ресивере, и что заряда воздуха будет хватать локомотиву на протяжении 50 миль (80 км) при движении 40-тонного поезда. Зарядные станции должны были устанавливаться каждые 30 миль (около 50 км).

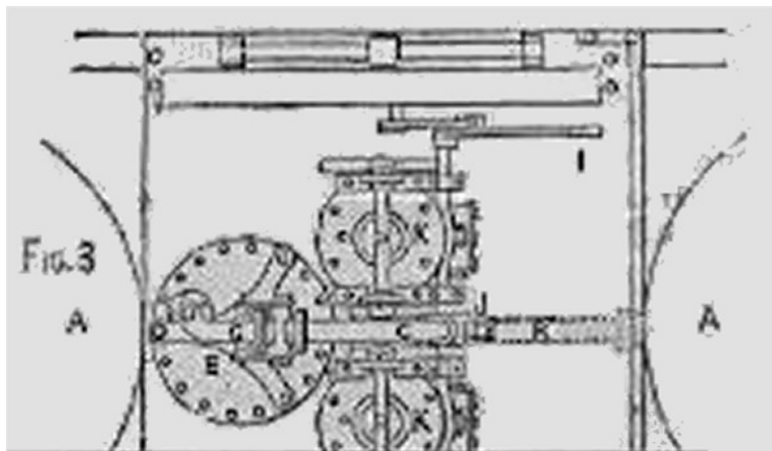


Модель пневмолокомотива Парси. Эта модель находится

в Йоркском железнодорожном музее в Англии. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

По словам сотрудников музея, модель была построена в 1845 г. для демонстрации патентов Парси 1839 и 1844 гг., а позднее была представлена директорам Большой западной железной дороги покойным сэром Джеймсом Кейрдом Бт. Он был судовладельцем, поэтому непонятно, как она к нему попала. Маленький зелёный цилиндр непосредствен-

но над центральной осью является одним из паровых цилиндров. Большой зелёный цилиндр справа от него – приёмник воздуха после того, как он снизился до рабочего давления двигателя. Поверх него находится маховик и винт, который устанавливал давление в редукционном клапане. Между колёсами нет спаривания, и оно невозможно, поскольку колёса имеют разные диаметры, поэтому ведущей является только средняя ось. Это, вероятно, приводило бы к проскальзыванию колёс, если бы была построена полноразмерная версия.



Двигатель пневматического локомотива Парси. 1846 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Этот рисунок взят из вышеприведённого художественного цикла иллюстрированных лондонских новостей. Несмотря на плохое качество он достаточно информативен. Два запасающих резервуара А, по-видимому, постоянно соединены друг с другом через трубу ОСК. Ресивер находится на Е, а редукционный клапан на G. Два цилиндра двигателя находятся на К.

Американский патент содержит вызывающий сильное недоумение второй раздел, согласно которому пневмомомотив снабжён средствами для подачи воздуха обратно в ресивер после его использования в двигателе. Парси говорил: «Я предлагаю при некоторых обстоятельствах вместо того, чтобы позволять его выпускать⁸, как пар двигателя высокого давления, возвращать сжатый воздух в ресивер А после того, как он воздействует на поршень». Видимо, он имел в виду резервуар А (то есть основной резервуар-хранилище), так как ресивер помечен буквой D, что означает, что давление использованного воздуха должно быть поднято до 70 ат или около того; эта путаница с терминами подрывает доверие к мистеру Парси. А что значит «некоторые обстоятельства»?

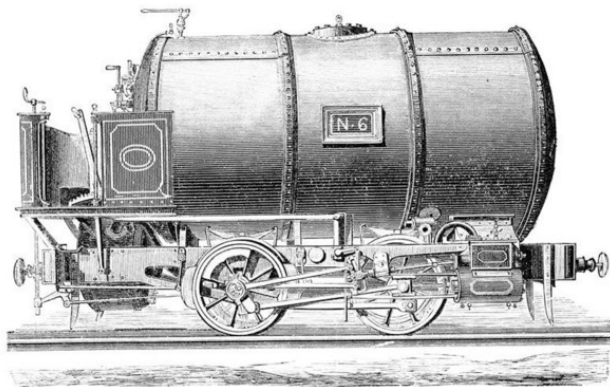
Теперь, если эта накачка относится к рекуперативному торможению, это было бы впечатляюще; но это не так, и это вызывает опасение, что предполагается какой-то вечный двигатель. Фактически Парси предполагал, что накачка

⁸ Имеется ввиду воздух в атмосферу.

может производиться вручную (что совершенно непрактично), но он предпочитает «использовать небольшой паровой двигатель» для выполнения этой задачи. Поэтому в простой пневматический локомотив теперь добавились паровой котёл, резервуары для воды, хранилище для угля и так далее. Это неразумно и показывает, что мистер Парси был не очень практичным человеком.

В 1846 году модель Парси была выставлена в офисе компании по производству сжатого воздуха Parsey, №5 Pall Mall East, где её видел Уильям Уильямс с Риджент-сквер в Лондоне. Он не был впечатлён. Он чувствовал, что «... высокая похвала и покровительство, которые были возложены на изобретение» были незаслуженными, поскольку упускались из виду потери мощности в редукционном клапане. Он согласился с тем, что редукционный клапан забирал небольшое количество воздуха при высоком давлении и давал больший объём при более низком давлении, но убедил себя, что есть скрытые потери, которые приведут к уменьшению радиуса действия локомотива до одной или двух миль. Мысли Уильямса были опубликованы в журнале «Mechanics Magazine», т. 44, стр. 200, сб. 14 марта 1846 г., №1179. Другим критиком был некто «А W», который считал предложение Парси чем-то вроде «пузыря», то есть весьма умозрительным и, возможно, неправильным. Похоже, он ещё меньше вникает в ситуацию, чем мистер Уильямс, полагая, что падение давления в редукционном клапане представляет со-

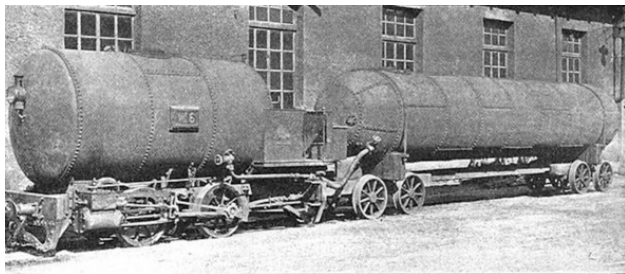
бой мощность, которая будет полностью потеряна. Он заключает: «Я не могу не добавить, что 1000 фунтов на квадратный дюйм – опасное давление для такого применения. Проектировщики утверждают, что воздух обладает всей экспансивной мощностью пара; это совершенно верно, но также верно и то, что он одинаково опасен». Это кажется справедливым комментарием, если Парси намеревался использовать медные сосуды при 70 ат. На стр. 221 этого номера журнала «Mechanics Magazine» некий ещё менее осведомлённый «J M» ошибочно написал о потерях в редукторе. Ни один из корреспондентов не упомянул о вполне реальном источнике неэффективности всего процесса – потерях при сжатии воздуха, в первую очередь.



Пневматический локомотив, использовавшийся в Сен-Готардском тоннеле. 1876 г.

Это первое широкое применение локомотивов на сжатом воздухе для перевозок. На этой иллюстрации изображён локомотив типа 0—2—0. Преимущество его использования состояло также и в том, что холодный воздух при выхлопе способствовал вентиляции тоннеля. Масса локомотива приблизительно 7 т. Источник: журнал «Popular Science Monthly», т. 10, 1877.

Пневматические локомотивы для Сен-Готардского тоннеля. Сен-Готардский железнодорожный тоннель в Лепонтинских Альпах был построен в 1871 – 1881 гг. Его длина 15 км, и через него проходит самый высокий участок Готардской железной дороги в Швейцарии, соединяя Гёшенен с Айроло. Это первый тоннель, который пересёк перевал Сен-Готард. Тоннель двухпутный; ширина колеи нормальная европейская.



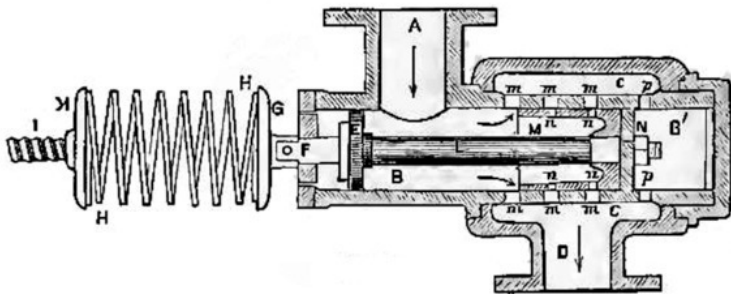
Пневматический локомотив №6 Сен-Готардского тоннеля

с прицепленным сзади большим дополнительным резервуаром для

хранения сжатого воздуха, установленным на двух двухосных тележках. 1875 г. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

На фронтальной части локомотива виден фонарь. «Воздушный» тендер потребовался, чтобы иметь достаточный объём для хранения воздуха в связи с его низким давлением.

При строительстве тоннеля столкнулись с трудностями при удалении породы из длинных штолен. Паровозы не могли использоваться из-за сильно ограниченной вентиляции. Использование лошадей также исключалось из-за их высокой цены и большого потребного количества. Поэтому был проведён первый эксперимент с использованием тяги на сжатом воздухе. Использовалось два обычных паровоза, по одному с каждой стороны тоннеля, но вместо воды котлы были заполнены сжатым воздухом давлением 4 ат. Результаты оказались обнадеживающими, и для этой цели в 1875 г. компанией Schneider-Creusot во Франции были специально построены локомотивы, предназначенные для работы на сжатом воздухе.



Редукционный клапан Рибура.

Первоначально воздух подавался прямо в цилиндры с ограничением степени наполнения путём изменения отсечки. Это оказалось неудовлетворительным, и М. Рибур, инженер, работавший на строительстве Сен-Готардского тоннеля, изобрёл этот клапан для снижения давления. Воздух из основного бака входит в патрубок А. Когда давление, действующее на поршень N при выходе из патрубка D, превышает силу, установленную при закручивании пружины вниз, клапан M перемещается влево, закрывая отверстия т и уменьшая воздушный поток. Из патрубка D воздух проходит в малый резервуар, который гасит колебания, создающиеся выталкиваемым из цилиндров воздухом. По-видимому, имелся также своего рода дроссельный клапан между малым резервуаром и цилиндрами; это до сих пор не подтверждено, но есть нечто, похожее на рукоятку регулятора, находящееся в задней части бака. Редукционный клапан

пан Рибура был важным шагом вперёд, но подобные устройства, скорее всего, применялись ранее Андро и дю Мотай, бароном фон Ратленом и Артуром Парси, если не другими. Источник: журнал «Popular Science Monthly», т. 10, 1877.

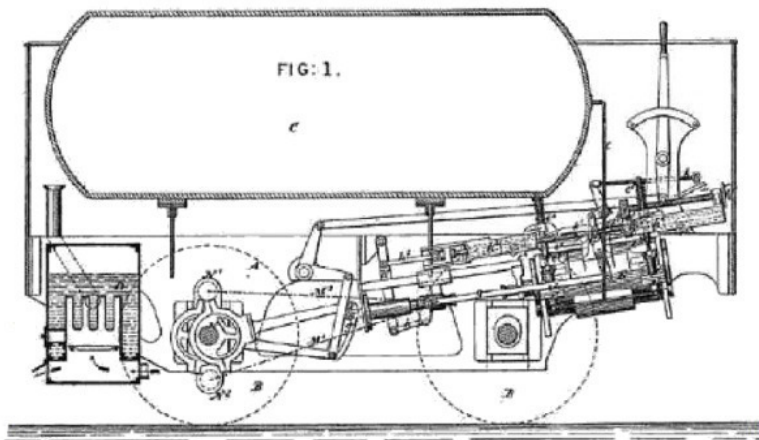
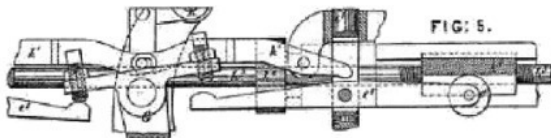
Рабочее давление составляло 7,35 ат, что было низким по сравнению с более поздними машинами и давлением в котле паровозов того времени; это, вероятно, было не случайно, поскольку при эксперименте с машинами, которые могут взорваться, естественно было начать с давления, которое считалось безопасным. Следует отметить, что воздушный ресивер имеет больший диаметр, по-видимому, более тонкие пластины и меньшее количество заклёпок, чем более поздние машины высокого давления.

Пневмолокомotiveы Бомонта. Подполковник Фредерик Бомонт был назначен для запуска железнодорожной сети в Королевском Арсенале в 1873 г. К 1876 г. он начал проявлять интерес к пневматическим локомотивам как к безопасному способу работы в местах, где хранилось большое количество взрывчатых веществ. К 1877 г. уже работал экспериментальный 18-дюймовый локомотив; это была очень маленькая машина с шестнадцатью основными воздушными резервуарами и четырьмя в качестве запасных.

Королевский Арсенал в то время производил торпеды Уайтхеда по лицензии. Они работали на сжатом воздухе, и в арсенале было компрессорное оборудование, способное

заряжать резервуары до 70 ат.

В статье в журнале «Society of Arts Journal» от 18 марта 1881 г. Бомонт сказал: «Самые ранние попытки были ограничены сжатием воздуха при сравнительно низком давлении, скажем, 200 фунтов на квадратный дюйм». Это давление (13,6 ат) было низким по более поздним стандартам, но всё же вдвое больше, чем использовалось в тоннеле Сен-Готард. Бомонт сказал, что это давало ограниченную выходную мощность, при этом всё ещё были проблемы с замерзанием цилиндров двигателя.



Witnesses:

J. A. Katherford
J. Henry Kaiser

Inventor:

Frederick E. B. Beaumont,
 By *James L. Norris*
Atty

U. S. PATENT OFFICE, WASHINGTON, D. C.

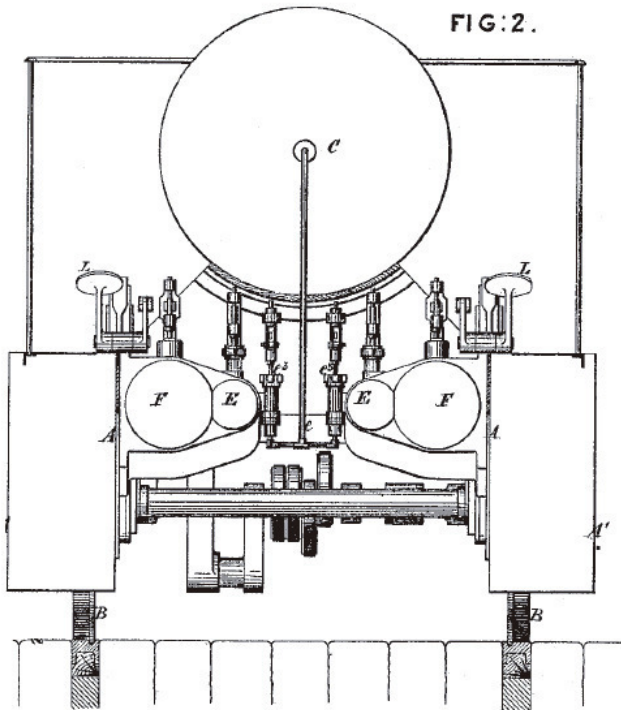
Пневмолокомотив Бомонта. 1880 г. Чертёж к патенту США №232438 от 21 сентября 1880 г. С сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

На этом чертеже показан единственный воздушный резервуар и наклонные цилиндры. Прямоугольное устройство в левом нижнем углу – это небольшой паровой котел с ды-

моходом, который снабжал паровые рубашки на цилиндрах, чтобы предотвратить их обледенение. Это явно нежелательное осложнение, но Бомонт счёл его необходимым. Патент определил четыре цилиндра, один высокого давления и один низкого давления на каждой стороне рамы, для работы по принципу компаунд.

25 июля 1879 г. был размещён заказ у Мэннинга Уордла для локомотива на сжатом воздухе стандартной колеи с давлением в запасающих резервуарах 70 ат. Его первое публичное испытание состоялось 6 мая 1880 года, когда он успешно прошёл на трассе SER между Дартфордом и Арсеналом Вуллджа. Детали этого локомотива немногочисленны, но, согласно «Dartford Chronicle», двигатель имел шесть цилиндров, снабжавшихся воздухом из «расширительной коробки», которая, предположительно, снижала давление хранения 70 ат до давления двигателя порядка 14 ат. Как эти цилиндры были расположены, и был ли редукторный привод к осям, неизвестно. Но мы знаем, что ход поршня составлял 30 см, и было шесть спаренных колёс диаметром 914 мм. Локомотив известен как Manning Wardle No 761.

FIG: 2.

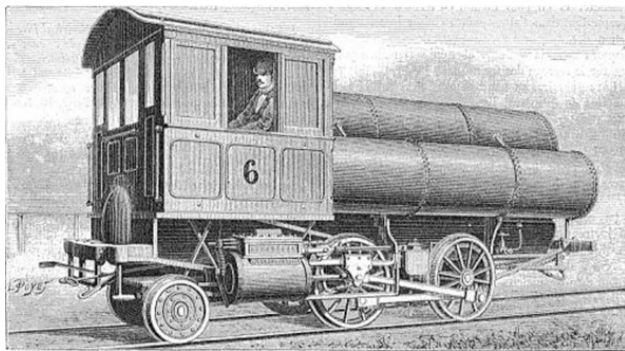


Пневмолокомотив Бомонта. 1880 г. Чертеж к патенту США №232438 от 21 сентября 1880 г. С сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Это фронтальная часть локомотива. На каждой стороне рамы имеется один цилиндр E высокого давления, и один цилиндр F низкого давления, работающие по принципу компаунд. Впускные клапаны обеспечивали переменную отсеч-

ку, также имелись средства для работы двигателя в простом режиме (без отсечки) для большей тяги при трогании. Элементы L и L являются ножными педалями для управления тормозами.

Нью-Йоркский пневмолокомотив. Построен в 1882 г. На локомотиве размещено четыре стальных цилиндрических баллона диаметром 91 см и объёмом 13 м³, в которых запас сжатого воздуха находился под давлением 42 ат.



Locomotive à air comprimé. — Chemins de fer sériens de New-York.

Нью-Йоркский пневмолокомотив. Иллюстрация из журнала «La Nature». 1882 г.

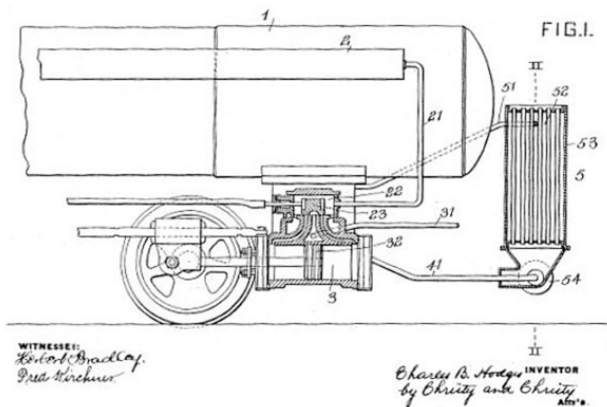


Чертёж к американскому патенту №868,560 выданному

Ходжесу на подогреватель окружающим воздухом в октябре 1907 г.

Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Воздух из основного бака 1 проходит во вспомогательный резервуар 2 через редукционный клапан и затем через трубу 21 к цилиндру высокого давления 3. Холодный отработанный воздух от него идёт через трубу 31 к межнагревателю⁹ 5. Там он нагревается окружающим воздухом и за-

⁹ Ходжес называл свое устройство межнагревателем, а не подогревателем, как его называли бы сегодня. Интригующе он обращается к улучшению межнагревателей, которое подразумевает, что идея была уже известна. По-видимому, это были грелки или коксовые печи.

тем идёт через трубу 51 к цилиндру низкого давления 4. Холодный выхлоп от него передаётся обратно через трубу 41 к межнагревателю, где проходит через эжектор 54, чтобы увлечь окружающий воздух через межнагреватель.

No. 868,560.

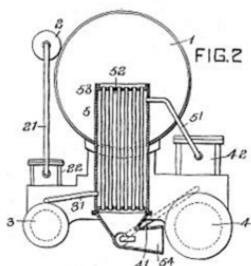
PATENTED OCT. 15, 1907.

C. B. HODGES.

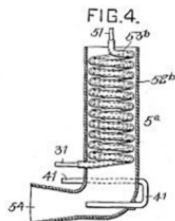
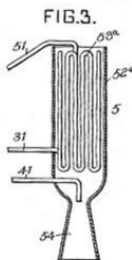
INTERHEATER FOR COMPOUND COMPRESSED AIR ENGINES.

APPLICATION FILED OCT. 10, 1906.

3 SHEETS-SHEET 2.



WITNESSES:
Herbert Bradley,
Paul Kirchner



INVENTOR
Charles B. Hodges
 by *Christy and Christy*
 Att'ys.

Чертёж к американскому патенту №868,560 выданному

Ходжесу на подогреватель атмосферным воздухом в 1907 г.

Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

1 — основной воздушный бак; 2 — вспомогательный резервуар; 3 — цилиндр высокого давления; 4 — цилиндр низкого давления; 5 — межнагреватель; 54 — эжектор. В практических проектах рожек эжектора был показан по диагонали вверх,

по-видимому, чтобы не поднимать пыль с насыпи железной дороги. Патент был продан локомотивной компании Г. К. Портера. Она построила первую систему с двукратным расширением в 1908 г.

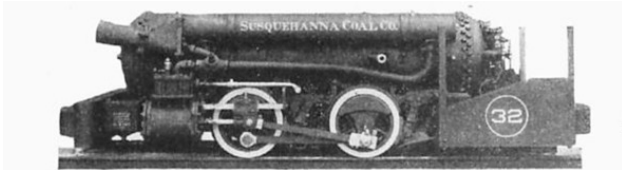


Пневмолокомотив Портера с двукратным расширением.

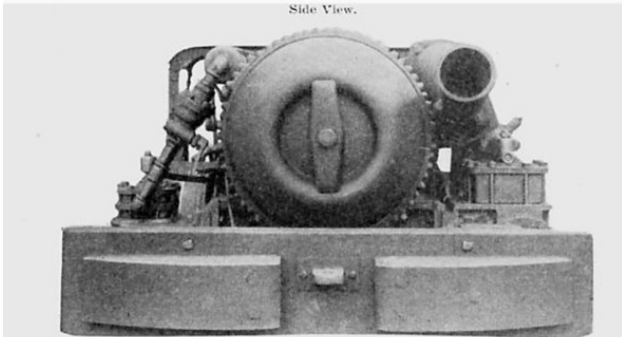
1912 г. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

На этой фотографии хорошо видны трубопроводы. Подогреватель расположен вдоль резервуара со сжатым воздухом; окружающий воздух входит через отверстия в ближнем конце. Рожок эжектора виден в дальнем конце. Эти три трубы устроены как показано на схеме выше. В задней части резервуара два манометра, больший выполнен с клапаном отключения. Маленький рычаг управлял регулятором

и большим рычагом позади работавшего тормоза. Этот локомотив первоначально использовался в угольной шахте Кэнмора в Альберте.



Side View.



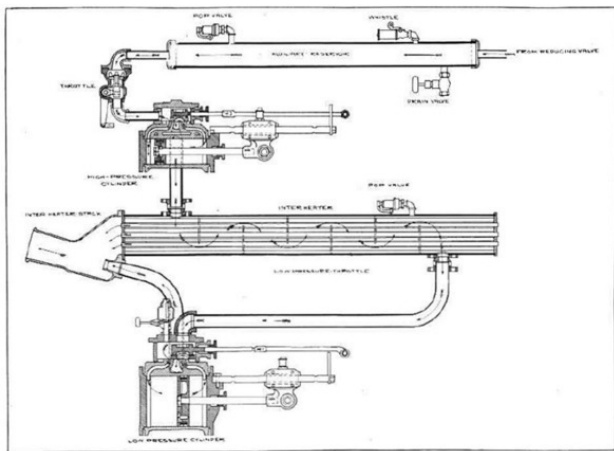
End View.

Fig. 110. Side View, and End View (at larger scale), of Compressed Air Locomotive. Compound type. The air, as it leaves the high-pressure cylinder at a very low temperature, passes through an atmospheric interheater before reaching the low pressure cylinder. By actual tests, this gives an increase in efficiency over the simple-acting locomotive of 50-65 per cent.
H. K. Porter Co., PITTSBURG, Pa.

Пневмолокомотив Портера с двигателем двукратного расширения (компаунд) с промежуточным подогревателем окружающим воздухом, расположенным между цилиндрами высокого и низкого давления. Фото из Тех-

нической энциклопедии (Cyclopedia of Engineering), т. 6, Американское Техническое Общество, Чикаго, 1910.

Видны выходной диффузор эжектора, всасывающего окружающий воздух в подогреватель, и торец небольшого вспомогательного резервуара. Подогреватель представляет собой цилиндр с надписью «Susquehanna Coal Co».



DIAGRAMMATIC VIEW OF CYLINDERS AND INTERHEATER

Работа пневмолокомотива Портера двукратного расширения. 1914 г.

Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Воздух хранится при высоком давлении в основном воздушном баке и понижается до 17 ат редуccionным кла-

паном, после чего поступает во вспомогательный резервуар, который намного меньше, чем основной бак; его цель состоит в том, чтобы сгладить колебания потока воздуха, вызванного неустойчивым впуском через клапан регулятора в цилиндр высокого давления, в котором воздух расширяется. Вспомогательный резервуар имеет форму длинной трубы, а не компактного бака, потому что при малом диаметре напряжение в металле обруча низкое, длина выбирается соответствующая. Холодный выхлоп от цилиндра высокого давления проходит через подогреватель (названный в схеме межнагревателем) и омывает трубы, через которые втягивается атмосферный воздух; отработанный в цилиндре высокого давления воздух нагревается, увеличивается его объём и повышается эффективность двигателя. Нагретый воздух поступает от подогревателя к цилиндру низкого давления, где он расширяется снова и затем проходит через струю эжектора, которая втягивает наружный воздух через подогреватель.

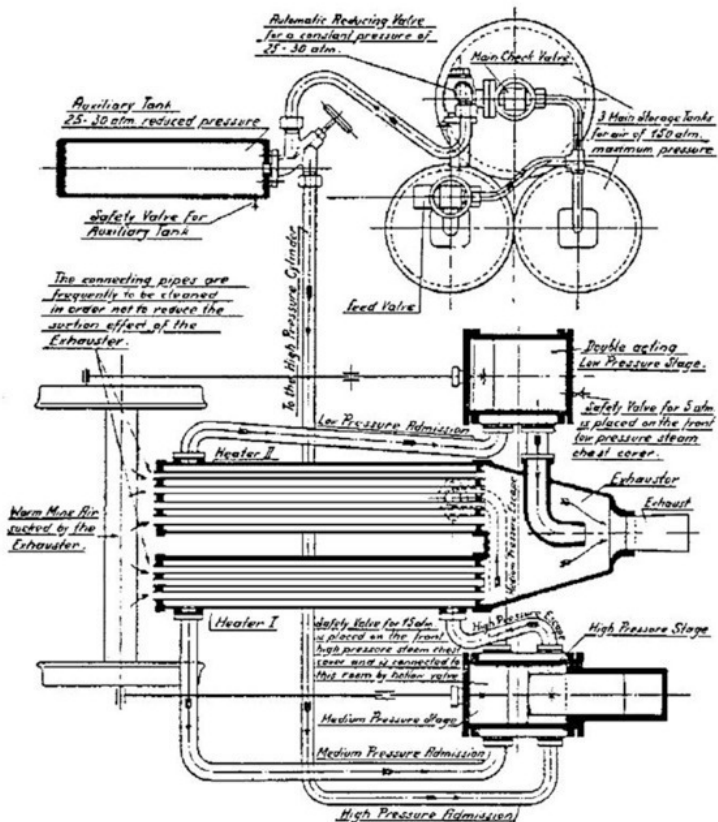


FIG. 3.—EXPLANATORY DIAGRAM OF TRIPLE-EXPANSION COMPRESSED-AIR LOCOMOTIVE WITH DOUBLE INTERMEDIATE HEATING.

Чертёж шахтного локомотива троекратного расширения с промежуточным подогревом окружающим возду-

хом, с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Два промежуточных подогревателя связаны с эжектором, действующим от выхлопа низкого давления. Цилиндры среднего и высокого давления объединены в тандем. Давление в трёх связанных баллонах 150 ат, во вспомогательном резервуаре 25 – 30 ат.



Пневмолокомотив Портера №104 с двигателем двукратного расширения с промежуточным подогревом окружающим воздухом. 1910 г.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Длинный тонкий цилиндр, который виден перед основным резервуаром, является ёмкостью для воздуха с рабочим давлением 17 ат, которое было редуцировано из давления в основном баллоне 50 ат. Клапан дросселя спереди связан с ручкой, которой управляет машинист со своего места. Также

видны регулятор давления, тормозной рычаг, который прижимает тормозные колодки к стальным колёсам, песочница с пневматическим управлением для предотвращения боксования и будка машиниста, которая должна находиться слева – там, где видны рычаги управления.

Воздух проходил через вертикальный подогреватель, нагреваясь до 90°C, и направлялся в цилиндры двигателя через дроссель и редукционный клапан, разработанный для поддержания давления в цилиндрах на уровне 8 – 9 ат. Для того, чтобы подогреватель оставался горячим, по-видимому, сжигался уголь. На локомотиве установлен клапанный механизм Мейера. Возможно применение рекуперативного торможения, когда при замедлении двигатель работает как компрессор, проталкивая воздух обратно в резервуары. Радиус действия порядка 13 км.

Пневматический локомотив Хоэдли – Найта. Джо-зеф Хоэдли и Уолтер Найт были первыми среди тех, кто применил пневматический двигатель компаунд двукратного расширения. Это должно было напрямую повысить эффективность, как это имело место для паровых машин компаунд, потому что давало возможность подогревать воздух между цилиндрами высокого и низкого давления, а также решало проблемы обледенения.

Патенты Хоэдли-Найта предполагали, что для нагрева воздуха перед цилиндром высокого давления, а также подо-

грева его между цилиндрами высокого и низкого давления используется горячая вода. Система опробовалась в Нью-Йорке с 1894 по 1899 г., но особого успеха не имела.

Пневматические локомотивы компаунд Ходжеса и Портера. Пневматические локомотивы использовались в угольных шахтах, где из-за опасности взрыва горючих газов нельзя применять огонь, а также в пищевой промышленности и на текстильных фабриках, где дым и копоть могли испортить продукцию.

Чарльз Б. Ходжес изобрёл двигатель двукратного расширения, использующий подогреватель между цилиндрами высокого и низкого давления, чтобы подогреть частично расширенный сжатый воздух. Этот воздух пропусклся через теплообменник, в котором он нагревался окружающим воздухом, всасываемым эжектором с помощью отработанного воздуха. Аналогичные эжекторы, действующие на отработанном паре, широко применялись для создания вакуума, используемого в тормозных системах паровозов. Благодаря изобретению Ходжеса отпадала необходимость в применении нагревателей, работающих за счёт сжигания некоторого количества кокса, и при этом не добавлялось никаких новых движущихся частей. Воздух был единственным используемым рабочим телом. Была достигнута существенная экономия, доходящая до 60%.



Пневмолокомотив Портера, разработанный для работы на поверхности, о чём свидетельствует его большая будка. Дата неизвестна.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

На будке сбоку написано «ВМС США». Этот рисунок является довольно загадочным. Локомотив на сжатом воздухе имело бы смысл использовать в арсенале ВМФ по соображениям безопасности, но подъёмный кран с другой стороны состава похож на паровой, с выступающей из крыши трубой.

В 1890 г. компания Генри Кирке Портера построила свой первый пневматический локомотив для угольной шахты в штате Пенсильвания. Воздух, используемый вместо пара для приведения в действие поршней, запасался в двух

резервуарах. Это позволило использовать локомотив внутри шахт без дыма от горящего угля, а также устраняло опасность, создаваемую паром высокого давления. Портер построил более 400 пневмолокомотивов для использования в шахтах, на заводах и уличных железных дорогах Нью-Орлеана. Строились пневмолокомотивы также другими фирмами, но к 1910 г. компания Портера владела 90% рынка. Компания Н К Porter Company в Питтсбурге купила права на американские патенты, полученные Ч. Ходжесом, и в период 1896 – 1930 гг. продала сотни локомотивов для работы на угольных шахтах в восточной части Северной Америки. Пневмолокомотивы широко использовались в газовых шахтах, где постоянно существовала опасность взрыва. Вентиляция шахты усиливалась воздухом, остывающим при расширении в цилиндрах локомотива.

Как правило, локомотивы компании Портера имели баллоны с запасом воздуха давлением 50 – 80 ат, которое редуцировалось до 7 – 10 ат при поступлении в цилиндры. Воздух сжимался в многоступенчатых компрессорах и распределялся по трубам на зарядные станции, расположенные вдоль маршрутов осуществления перевозок. Портер утверждал, что операция заправки может быть легко завершена за 1,5 мин., при этом воздушный клапан открыт только в течение 40-50 с. Воздушные резервуары были испытаны давлением, на 30% превышающим их рабочее давление.

Известен вариант пневматического локомотива троекрат-

ного расширения компании Портера по патенту Ходжеса. Запас сжатого воздуха хранился при давлении 150 ат, которое значительно выше обычно используемого. Можно было бы предположить, что трехкратное расширение необходимо для нормальной эксплуатации системы со столь высоким давлением. Но, во-первых, это давление уменьшалось до 25 – 30 ат с помощью редуционного клапана и, во-вторых, дополнительно снижалось перед цилиндром высокого давления, который имел предохранительный клапан на 15 ат. Давление в цилиндре среднего давления неизвестно, а цилиндр низкого давления имел предохранительный клапан на 5 ат. Все известные ссылки на построенные пневмолокомotive Портера указывают, что они были двукратного расширения, и поэтому в настоящее время не ясно, использовалось ли в действительности трехкратное расширение на практике. Скорее всего, этот проект реализован не был.

Давление 150 ат – чрезвычайно высокое, учитывая, что у паровозов оно редко превышало 17 ат; вероятно поэтому локомотив имел три ёмкости для хранения запаса сжатого воздуха как более экономичный способ держать такое высокое давление. Можно только гадать о безопасности. Конечно, не было ни огня, ни накипи – факторов, вызывающих эрозию металла, но, несмотря на это, страшно представить, что было бы, если хотя бы один из баллонов взорвался. Хотя каких-либо упоминаний о подобных случаях не найдено. Бы-

ло весьма важно проверять внутреннюю часть ёмкости для хранения запаса сжатого воздуха на предмет коррозии, вызываемой капельной влагой; следует обратить внимание, что все резервуары поэтому имеют инспекционный люк на одном конце.

У другого пневмолокомотива компании Портера, №104, резервуар с запасом сжатого воздуха имел давление 50 ат, а двигатель рассчитан на 17 ат. Подогреватель находился на противоположной стороне резервуара, конус выхлопного диффузора эжектора виден в правом верхнем углу над люком баллона.

Обращает на себя внимание большое количество очень крупных заклёпок, требуемых для скрепления резервуара с запасом сжатого воздуха, по сравнению с паровозами, которые работали на гораздо более низком давлении. Резервуар с рабочим давлением двигателя выполнен в виде длинного тонкого цилиндра, а не более компактного бака. Скорее всего, это сделано потому, что длинный цилиндр удобно выполнить из стальной трубы стандартной длины, в то время как короткий бак будет испытывать гораздо большее усилие от стягивающего обруча и необходимо будет применять тяжёлые заклёпки, как для основного резервуара. Длинный цилиндр также имеет большую площадь поверхности для поглощения тепла из окружающей среды, которая нужна для нагрева воздуха после его охлаждения при расширении.



Ещё один сохранившийся пневмолокомотив Портера. Дата неизвестна.

Фото из коллекции Duane Overholser of Sheridan, OR.

Этот локомотив находится в детском парке «Storybook Island» в Рапид-Сити, Южная Дакота. Отсутствуют признаки оборудования двукратного расширения. Здесь также много очень больших заклёпок. Похоже, что отсутствуют некоторые детали и приспособления, и покрашен локомотив не очень хорошо.

Локомотив №104 по времени относится к 1910 г. Он использовался в одной из угольных шахт в Кэнморе, Альберта, и демонстрируется в музее в Сандоне, Британская Колумбия, Канада. Н К Porter Company отмечала, что подогрев воздуха перед подачей во вспомогательный резервуар повышал экономичность локомотива на 35 – 50% («Light Locomotives» by Н.К. Porter, 1900).



Пневматический локомотив Портера №27 в Золотом руднике Хамстэйк, Южная Дакота. Дата неизвестна.

Фото с сайта «RailroadPix.Com». Автор Майк Декер.

Есть ещё пневмолокомотив, работавший в шахте Хамстэйк. У него два резервуара с запасом сжатого воздуха давлением 70 ат расположены рядом, скорее всего потому, что при этом уменьшаются напряжения в металле от обруча и поэтому изготовление менее затратное. Выходной диффузор подогревателя с капюшоном над ним расположен в передней части локомотива. Подогреватель установлен между двух ре-

резервуаров с запасом сжатого воздуха ниже них. Даже несмотря на то, что представляется более реальным использование двукратного расширения воздуха вместо троекратного, непонятно, почему два видимых цилиндра тандем имеют одинаковый диаметр; возможно, это – сторона низкого давления, и тандемные цилиндры использовались, чтобы увеличить общую площадь поршней, вписавшись в габарит.



Сохраненный локомотив Портера. 1928 г.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Это сохранившийся образец более поздней разработки Портера. Был куплен в 1928 г. и оставался на службе до 1961 г. в шахте Хамстэйк №1А. Давление сжатого воздуха, запасаемого в резервуаре объёмом 4 м^3 , составляло

70 ат. Масса 12,2 т, длина 7 м, ширина 1,6 м, высота 2,1 м. Выставлен для обозрения в шахте Хамстэйк в Южной Дакоте.

Пневматический локомотив Харди. Локомотив предназначен для работы на надземной Манхэттенской железной дороге в Нью-Йорке, где отсутствие сажи и запаха дыма являлось бы большим преимуществом. Давление в баллонах составляло 140 ат. Вот что писал об этом локомотиве журнал «Street Railway Journal» в мае 1897 г.:

«На сопроводительной гравюре показан новый локомотив сжатого воздуха, недавно построенный американской компанией Air Power Company для Манхэттенской надземной железнодорожной компании в Нью-Йорке. Локомотив будет сдан в эксплуатацию в течение нескольких дней в подразделение Шестой авеню этой компании и будет курсировать между Пятьдесят восьмой улицей и Ректор-Стрит. Колёса имеют 42 дюйма в диаметре; размеры цилиндра 13 дюймов в диаметре на 20 дюймов хода, и зарядный резервуар имеет вместимость 175 куб. футов. Это, по оценкам, позволит локомотиву совершать поездку туда и обратно между Ректор-Стрит и Пятьдесят восьмой улицей с 20-процентным запасом. Резервуар состоит из труб Маннесмана диаметром 9 дюймов, и имеющих различные длины, от 14 футов до 20 футов 6 дюймов. Толщина труб 9 дюймов. Трубы прокатаны из твёрдых слитков в соответствии

с регулярным процессом Маннесмана».

«Воздух хранится в резервуаре на 2000 фунтов давления. Он используется в цилиндре на 200 фунтов давления с отсечкой от 10% хода до 5% хода. При прохождении из резервуара в цилиндр он протекает через обычный подогреватель с горячей водой и поступает в цилиндр при температуре от 200 до 300 градусов. Вода поддерживается нагретой с помощью небольшого угольного огня. Но топлива для его поддержания требуется немного, что становится понятным, когда говорится, что на локомотиве размещается только обычный бункер с углём. Новой особенностью локомотива, как будет видно, является расположение цилиндра. Он находится непосредственно под кабиной, позволяя иметь короткий трубопровод для нагретого воздуха. Клапанный механизм является чрезвычайно простым, что можно увидеть на гравюре под кабиной. Он управляется колесом, которое можно увидеть через окно кабины. Масса полностью экипированного локомотива составляет 47000 фунтов. Зарядная станция будет расположена на Гринвич-стрит, 100».



Пневмолокомотив Портера с тремя баллонами. Этот локомотив-гигант типа 0—2—0 был построен для компании New Orleans Sewerage & Water Board в 1915 г. Он сохранён, но его текущее местоположение неизвестно. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Обращает на себя внимание большой вертикальный выхлопной рожек подогревателя. Также виден ящик, установленный на верхнем баке, похожий на бункер для песка, с целью улучшения сцепления. Перед будкой машиниста виден второй такой же.



Пневмолокомотив Портера с тремя баллонами. Дата неизвестна.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Эта фотография показывает тот же самый локомотив, но в другом месте. Обращает на себя внимание то, что ближний резервуар короче остальных, чтобы увеличить пространство в кабине машиниста. Возможно, маленький цилиндр, находящийся между резервуарами, является вспомогательным резервуаром для воздуха, имеющего рабочее давление¹⁰.

¹⁰ Обычно у Портера свисток питается от вспомогательного резервуара, который поддерживает нужное давление, чтобы управлять им. Есть клапан дренажа для выпуска воды из вспомогательного резервуара. И вспомогательный резервуар, и подогреватель оснащены предохранительными клапанами. Это необходимо

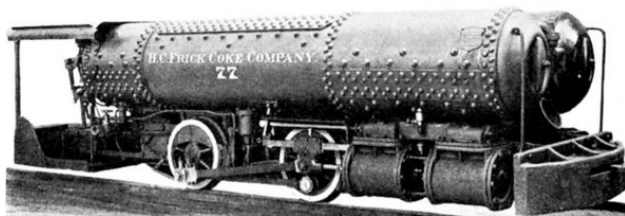


FRONT VIEW PORTER COMPRESSED AIR LOCOMOTIVE.

Пневмолокомотив Портера №98.

Его технические данные не приводятся.

Фото из Технической энциклопедии (Cyclopedia of Engineering), т. 4, Американское Техническое Общество, Чикаго, 1910.



Локомотив Портера для компании H. C. Frick Coke Co. Дата неизвестна.

в случае, если редукционный клапан заест (не закроется), и впускаемый воздух будет иметь давление 80 ат.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Он похож на локомотив для шахты Хамстэйк. Имеются два цилиндра тандем одинакового диаметра. Выпускное отверстие рожка подогревателя видно в передней части локомотива между двумя резервуарами. Х. К. Фрик покупал пневматические локомотивы также у компании Baldwin.

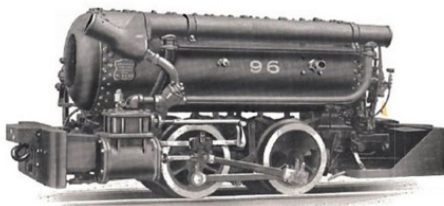


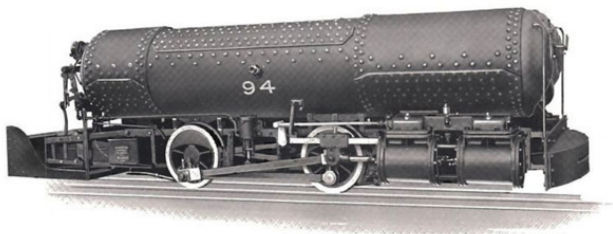
ILLUSTRATION No. 96, CLASS B-P-O

Four sizes, each with code word of the above design are described on the opposite page, and the principal dimensions, weight, power and other details are given in the column attached to each size. We are prepared to build other sizes, and to construct these locomotives for any practicable gauge of track and size of entry. Bumpers and draft fitting are designed to suit the special requirements of the customer. A light canopy to protect the engine, and headlights will be furnished if required. The smaller sizes are especially adapted for extremely narrow gauges, usually in solid silver and copper mines. The dimensions of the locomotive, the pressure and capacity of the tank are in every case adjusted to the requirements and conditions. These locomotives run quickly and smoothly, have sharp curves easily and maintain an easy grade as far practicable for any locomotive on ordinary rail. Two inches clearance between the highest point of the locomotive and the lowest in the entry is abundant, as the height of the locomotive cannot increase, but decreases a little by the wear of the tire and journal faces.

Пневмолокомотив Портера класса В-Р-О. 1914 г.

Этот локомотив компаунд мог быть в четырёх вариантах, названных PELOW, PEVMUX, PEVNAZ и PEVREC, которые являются словами телеграфного кода. Каждая версия могла быть оснащена воздушными баками различной вместимости. Давление зарядки для каждого варианта составляло 50 – 80 ат. Есть также упоминание о вспомогательном резервуаре с давлением 17 ат; он был помещён между редукционным клапаном и регулятором, чтобы ста-

билизировать поток воздуха. Его не видно на этой фотографии. Подогреватель со своим диффузором эжектора, который виден в левом верхнем углу указывающим вверх, расположен на воздушном баке сбоку от него.¹¹



Пневмолокомотив Портера класса В-РР-О. 1914 г.

Этот локомотив компаунд изготавливался в четырёх размерах, названных PECRAB, PECSEC, PECTED и PECVOF. Все они работали при давлении 50 – 80 ат в двух основных баках, расположенных рядом. Два тандемных цилиндра находятся на стороне низкого давления, видны внизу справа. Один цилиндр при той же самой поршневой площади, по-видимому, чрезмерно увеличил бы общую ширину локомотива.

¹¹ В 1914 г. Н К Porter Company выпустила 2-е издание своей книги «Modern Compressed Air Locomotives», в котором дано подробное исследование технологии сжатого воздуха и экономики. Эта и следующие иллюстрации локомотивов Портера взяты из этой книги. В книге описывается работа компаунд – двукратное (но не троекратное) расширение.

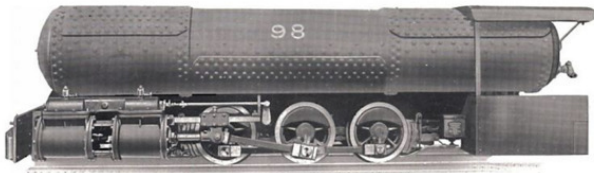


ILLUSTRATION No. 98, CLASS C-PP

Пневмолокомотив Портера класса С-РР. 1914 г.

Это версия с тремя осями локомотива В-РР-О. Здесь виден только один бак, а за ним расположен второй. Зарядное давление составляло от 50 до 80 ат. Во вспомогательном резервуаре давление поддерживалось на уровне 17 ат.

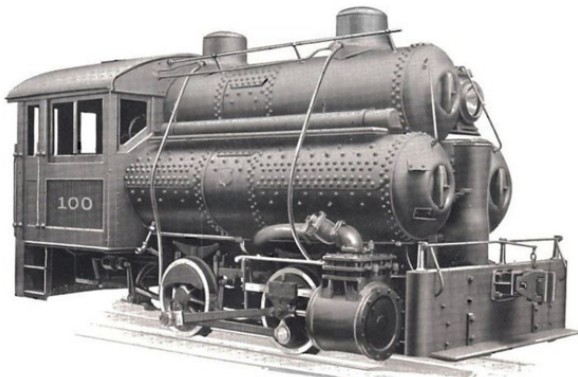


ILLUSTRATION No. 100, CLASS B-PPP AND B-PP

Пневмолокомотив Портера класса В-РРР и В-РР. 1914 г.

Этот тип локомотива уже был показан выше; построен

для New Orleans Sewerage & Water Board в 1915 г. Так как он не предназначался для шахт, его общая ширина не так важна; таким образом, единственный большой цилиндр мог находиться на стороне низкого давления. Большой рожек эжектора виден между двумя нижними баллонами. Труба между верхним и нижними главными баллонами могла быть вспомогательным резервуаром, хотя это сомнительно, учитывая её небольшой размер. Зарядное давление составляло 50 – 80 ат, во вспомогательном резервуаре – 17 ат.

AIR LOCOMOTIVES WITH TENDERS



ILLUSTRATION No. 104, CLASS B-P-T

With caps for surface haulage at powder works, for extra long haul where conditions require light-weight equipment.

Пневмолокомотив Портера класса В-Р-Т. 1914 г.

Из-за ограничений по высоте и ширине большой объём воздуха мог быть запасён на локомотиве реальной длины (для увеличения пробега без подзарядки) в прицепляемом тендере, несущим второй воздушный баллон. При этом вес распределялся на четыре оси, а не на две. Эта идея уже использовалась в некоторых локомотивах Сен-Готардского тоннеля в 1875 г.



ILLUSTRATION No. 103, CLASS B-PP-T

For mine service with sharp curves and narrow entries requiring locomotive with cylinders inside the frame and with crank axle for main driving wheels.

Пневмолокомотив Портера класса В-РР-Т. 1914 г.

У этого шахтного локомотива были внутренние цилиндры; объединение с тендером могло встретить серьёзные ограничения по ширине.

MULTIPLE TANK AIR LOCOMOTIVE FOR VERY HIGH CHARGING PRESSURE

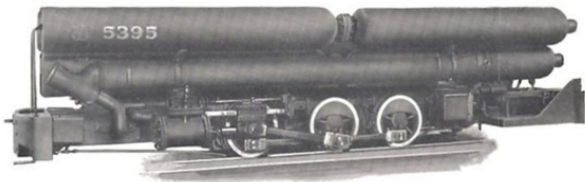


ILLUSTRATION No. 5395, CLASS C-5Ps-O

The above photograph illustrates another method of designing an air locomotive for an extremely long haul on one charge of air. The main reservoir is composed of a number of seamless pressed and drawn steel bottles or tanks, which are built for a working pressure of from 1700 to 2200 pounds per square inch. These tanks are connected to each other so that the pressure is the same in all of them. This locomotive is rather long and has a long wheel-base, and may be used to the best advantage on long, straight hauls. We are prepared to build this type of locomotive for any practicable gauge of track, and for hauls where the height and width are limited.

Пневмолокомотив Портера класса С-5Рs-О. 1914 г.

Локомотив имел четыре воздушных резервуара, два наверху и два пониже. Труба подогревателя с рожком эжектора находилась сбоку и связывала основание и два резер-

вуара, которые видны позади неё. Рабочее давление этого локомотива было от 120 до 155 ат. Резервуары сделаны из твёрдой стали, без заклёпок, что делало их более прочными и надёжными. У них также меньший диаметр, чтобы снизить напряжение в металле обруча. Доступность безопасных резервуаров, работающих при высоком давлении, привела к их использованию на других локомотивах, таких как Харди, симплонские локомотивы и современные пневмо-локомотивы.



Пневматический локомотив Харди. 1897 г.

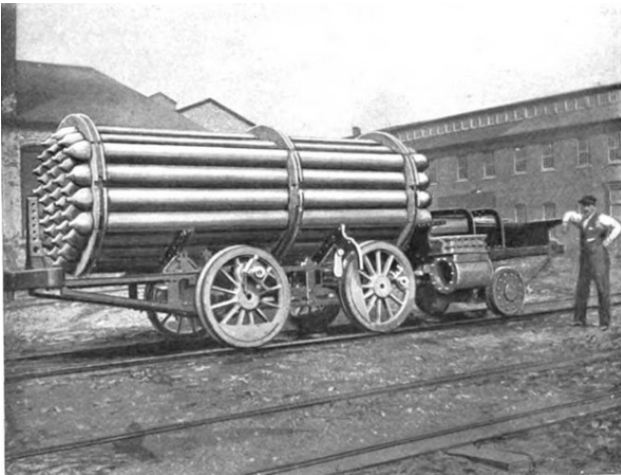
Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

То, что выглядит как котёл, всего лишь обшивка, закрывающая батарею баллонов со сжатым воздухом. Бак для горячей воды, нагреваемый углём, использовался для

предварительного нагрева запаса сжатого воздуха перед использованием. Дымоход виден на левой стороне кабины. На пластине, прикреплённой к обшивке резервуаров, написано «Rector St».

Пневматический локомотив Диксона. Построен в 1899 г. Давление в резервуаре с запасом сжатого воздуха 42 ат, рабочее давление 10,5 ат. Объем бака 4,8 м³, масса 16 т.

Разница между давлением в резервуаре и рабочим давлением указывает на то, что между резервуаром и цилиндром двигателя стоял редукционный клапан. Давление 42 ат является гораздо более высоким, чем обычно используется в паровых котлах, где оно редко превышает 17 ат. Вот почему резервуар этого локомотива, в отличие от парового котла, обит очень большими заклёпками. Это характерно для пневматических локомотивов.



Локомотив Харди в частично собранном виде.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Показано, как баллоны со сжатым воздухом скомпонованы вместе. Видно, что ведущая ось сильно перегружена. Кажется маловероятным, что вес деревянной будки мог бы сбалансировать вес всех этих стальных баллонов, нависающих над ведущей осью.

Пневматические локомотивы компании Baldwin.

Компания Baldwin очень хорошо известна как создатель паровозов, но она строила и пневматические локомотивы. В 1897 г. С. М. Вокленом, главным инженером компании, был разработан пневмолокомотив компаунд типа

0—2—0 для компании Philadelphia & Reading Coal & Iron Company, которая хотела использовать его в своей угольной шахте на Аляске, но имеется предположение, что он работал в Пенсильвании, а не на холодном севере. Локомотив получился удачным, и угольная компания заказала ещё три таких локомотива.

From "Railway and Locomotive Engineering" volume 10, number 5, May, 1897, pages 365 and 336

Compressed Air Locomotive.

Our readers cannot fail to be interested in the compressed air locomotive now about commencing its trips upon the Manhattan Elevated Road in this city, and the accompanying half tones give a good idea of it, the first showing the frame of the machine and the tubes for carrying the charge of air, and the second showing the complete machine. The air at a pressure of 2,000 pounds to the inch is carried in 36 Mannesmann tubes, each 9 inches diameter and 15 feet 6 inches long, the cubical capacity being 246 cubic feet, which at the above pressure equals 13,700 cubic feet of free air. The weight of the full charge of dry air, by the way, will be over 2,500 pounds.

The tubes are all so connected, the connections all in the forward end and easily accessible, as to form one continuous reservoir. The air passes first to a pressure reducer which maintains a constant working pressure of 150 pounds, which may be varied within certain limits under the control of the engineer. The air after its re-expansion to this working pressure passes through a tank of water at a temperature of 35° Fahr. The water is heated and a portion supplied whenever the air reservoirs are recharged. The air in passing through the hot water is not only heated and expanded, but takes up a volume equal to about one-half of its own volume, the result of the expansion of the air and the mixture of the steam with it being to double the actual working volume of air.

From the heater the air goes as directly as possible to the cylinders. These are 13½ inches diameter and 20 inches stroke, being placed, as will be noticed, under the cab instead of forward. This arrangement is adopted principally to be as near the hot water tank as possible. As the cylinders on the steam locomotives of this line are only 12 inches diameter, the air locomotive will have more power, will start the trains quicker from the stations and will be able to make better time, although with other trains in the way there must be little chance to show this.

We are indebted to the "American Machinist" for cuts and description of this locomotive.



Use of Valve Oil.

We have received from Mr. J. F. Walsh, of the Galena Oil Company, a small folder, giving directions to engineers in the use of valve oil, which we find of sufficient interest to publish. The directions are:

"In one pound of valve oil there is, when fed through a lubricator in good repair, not less than 6,600 drops. Five drops fed per minute will ordinarily be found sufficient for the largest engine and heaviest service. For smaller engines or light service, a comparatively slower feed of oil will be found sufficient. One drop fed per minute is sufficient for an air pump.

"At a feed of five (5) drops per minute for each cylinder, and one (1) drop fed

(44) G. W. H., Chicago, Ill., writes:

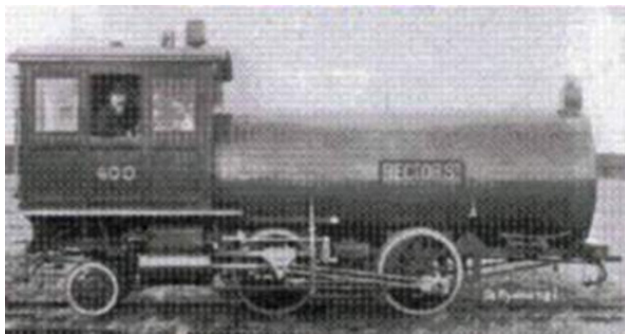
1. I do not fully understand the operation of the compressed-air locomotive, and therefore have a few questions. I would like to ask, to begin with, does the air, after passing the reducing valve, enter into a chamber with water and steam, or does it pass through a chamber heated by this steam? A.—The air passes direct into a chamber containing hot water at a pressure of about 150 pounds per square inch. 2. Water at 350 degrees Fahr. is steam at 125 pounds; now, how is this heat or steam kept up? You say that the water is heated and a portion supplied, etc. What does this mean? A.—The original idea in connection with the steam chamber was to heat and re-expand the air, but experiment in service demonstrated that the moisture taken up by the dry air made the device more efficient than when the air was made to pass over a heated surface only. The heat of the steam chamber is, of course, gradually dissipated and falls into the chamber is charged again.

Из статьи о локомотиве Харди, помещённой в журнале «Railway and Locomotive Engineering», т. 10, №5, май 1897, можно узнать, что полный заряд воздуха весил более 1,1 т.

Отмечается, что вода, испаряясь в воздухоподогревателе, составляла половину объёма смеси воздуха и пара. Такие системы относятся к паровоздушным.

Конструкции локомотивов Baldwin выглядят вполне стандартными по сравнению с оригинальной конструкцией системы подогрева, используемой компанией Портера. Насколько сейчас известно, компания Baldwin никогда не пыталась применить ничего подобного, вероятно, потому, что разработки компании Портера были защищены патентами Ходжеса.

Имеются сведения о некоторых пневмолокомотивах, построенных заводом Baldwin. Один из них – №11. Воздух хранился в резервуарах под давлением 42 ат, а двигатель рассчитан на давление 7 ат. Локомотиву требовался вертикальный зазор 1,5 м и 1,8 м в ширину для прохождения кривых 9-метрового радиуса. Поскольку виден только один цилиндр, то, похоже, что у этого локомотива двигатель простого расширения.

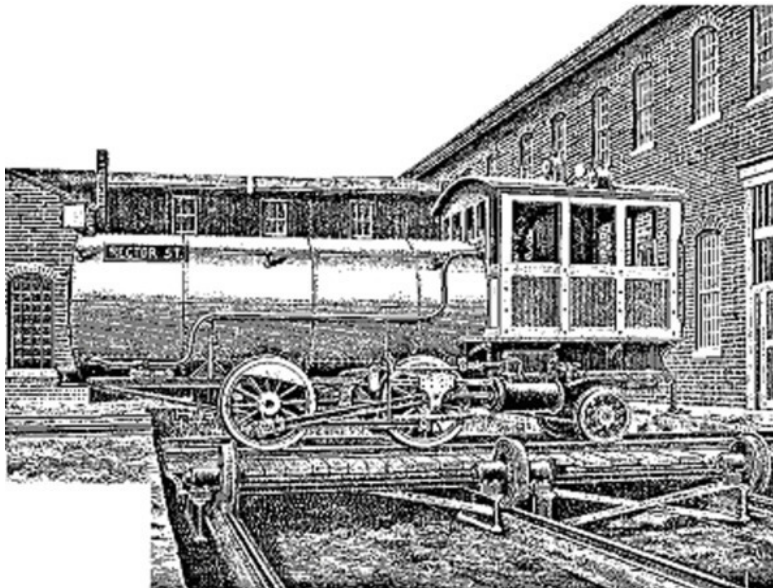


Вид сбоку локомотива Харди.

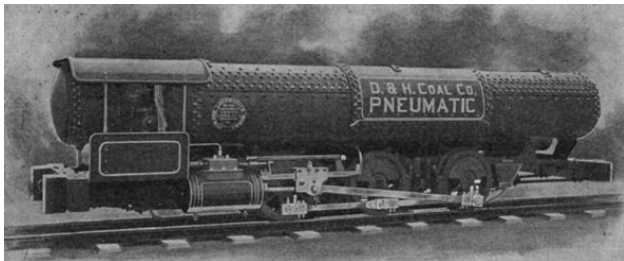
Фото из журнала «Street Railway Journal», май 1897.

С помощью небольшой угольной топки воздух до подачи в цилиндры, нагревался. Это, должно быть, несколько подрывало все усилия, направленные на то, чтобы покончить с дымом и шлаком. На передней части крыши кабины виден дымоход. На боковой пластине написано «Rector St».

Локомотив №41 – предназначен для работы на метровой колее. Считается, что это локомотив компаунд с цилиндром высокого давления диаметром 95 мм, низкого давления – 152 мм и ходом поршня 254 мм. Диаметр движущих колёс 610 мм. Один резервуар короче другого, чтобы иметь больше места в будке машиниста. Локомотив оборудован предупредительным гонгом. Заводской номер локомотива 17857 06—00. Данных о давлении в резервуарах и двигателе нет.



Другой вид локомотива Харди сбоку. Он установлен на транспортёр, который перемещается в сторону автомобиля, чтобы они могли находиться как можно ближе друг к другу. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».



Пневмолокомотив типа 0—3—0. Построен для угольной промышленности локомотивостроительным заводом Диксона в Скрэнтоне, Пенсильвания, Северная Америка. 1899 г.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

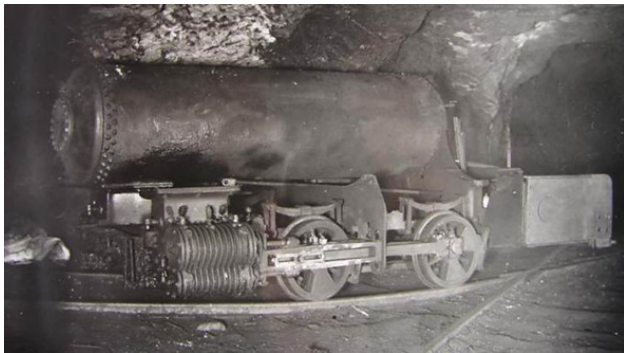


Пневматический локомотив, построенный компа-

нией Baldwin для P&RCI. Дата неизвестна.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Здесь, судя по надписи на резервуаре, представлен один из локомотивов, принадлежащих компании Philadelphia & Reading Coal & Iron Company. Он похож на локомотив компаунд с большим цилиндром низкого давления, который расположен над меньшим цилиндром высокого давления с двигающимися вместе поршнями. Клапанная коробка находится выше цилиндра низкого давления. Обращают на себя внимание рёбра на блоке цилиндров, предназначенные для поглощения тепла из окружающей среды, чтобы уменьшить охлаждение воздуха при расширении.



Пневматический локомотив, построенный компанией Baldwin для P&RCI. Дата неизвестна.

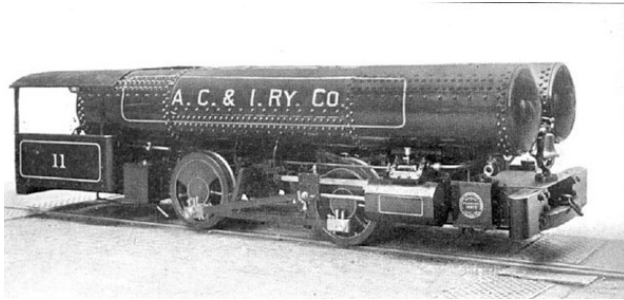
Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam

Locomotives».

Предположительно это один из подземных локомотивов, принадлежавших компании Philadelphia & Reading Coal & Iron Company. Обращают на себя внимание необычные противовесы с двумя секциями, встроенные в колёса. Машина находится в плачевном состоянии – отсутствует клапанная коробка над цилиндрами.

В журнале «American Engineer and Railroad Journal» приводятся сведения ещё об одном локомотиве, построенном на заводе Baldwin. Ниже показан его схематический чертёж. Воздухоподогреватель запатентован Вокленом. Сжатый воздух хранился во множестве цилиндров маленького диаметра, как и на локомотиве Харди, а не в больших резервуарах. Есть опасение, что использование множества маленьких цилиндров, а не одного или двух больших резервуаров, приводило к неэффективному использованию металла. Редукционный клапан перед цилиндрами пропускал воздух в большой цилиндр, расположенный над рамой и являющийся воздушным ресивером, окружённым цилиндрическим барабаном с горячей водой. Часть воды распылялась в центральный воздушный ресивер для лучшего нагревания и способствовала смазке цилиндров. Представляется, что для этого барабан с горячей водой должен находиться под давлением воздуха до редукционного клапана. Горячая вода подавалась из внешнего источника, и это было серьёзным недостатком,

поскольку её надо было часто менять – вероятно, намного чаще, чем должны были заряжаться воздушные резервуары. Отработавший воздух выпускался в трубу, как на паровозах.

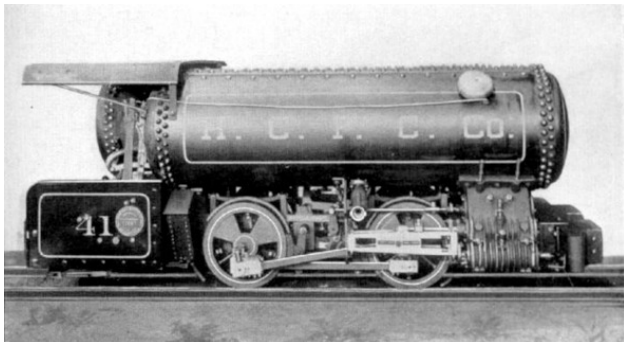


Пневматический локомотив, построенный для компании Ashland Coal & Iron Railway Co. локомотивостроительным заводом Baldwin

в Филадельфии. Дата неизвестна.

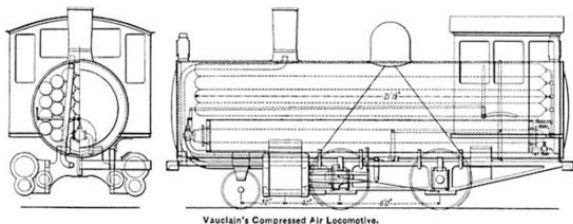
Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Имелось три резервуара для запаса сжатого воздуха. Видны только два; третий резервуар меньшего размера установлен внутри рамы. Один из двух верхних резервуаров короче другого, чтобы оставить больше места для очень тесной будки. Похоже, что концы резервуаров вогнуты внутрь для лучшего сопротивления внутреннему давлению.



Пневматический локомотив, построенный заводом Baldwin

**для компании H. C. Frick Coke Co. Дата неизвестна.
Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».**

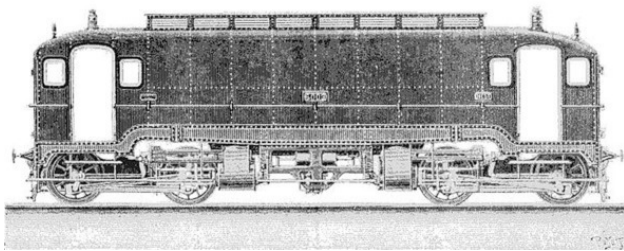


Пневматический локомотив Балдвина с подогревателем воздуха. 1899 г. Фото из журнала «American Engineer and Railroad Journal», февраль 1899, стр. 58.

Пневмолокомотивы для западной французской сети¹². В 1901 г. Общество Saint-Leonard¹³ построило четыре пневматических локомотива (№6001 – 6004) для западной французской сети.

¹² Журнал «Nature», 1901, 2-й выпуск.

¹³ Основано 13 февраля 1836 г. Жаном-Генри Ренье-Понселе в бельгийском г. Льеж. Первый локомотив построен в 1840 г. За время своего существования до 1932 г. Общество построило 1465 паровозов.



Пневмолокомотив для западной французской сети. 1901 г.

Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Для линий, обслуживающих Бретань и Нормандию, только что был построен новый подземный железнодорожный вокзал Монпарнас около Сены, чтобы разгрузить существующий вокзал на Монпарнасе. Эти линии обычно обслуживались электровозами, которые питались постоянным током напряжением 650 В из третьего рельса. Это напряжение уже широко использовалось на французских трамваях. Однако, поскольку с Парижем было заключено соглашение, исключающее использование паровозов внутри новой станции, были необходимы альтернативные способы тяги при внезапной потере питания. Выбор пал на локомотивы, работающие сжатым воздухом.

Пневмолокомотивы имели две двухосные тележки. Локомотивы могли управляться с любого конца. Воздух запасался

в 33 воздушных резервуарах (предположительно цилиндрической формы) в средней части локомотива. Имелся промежуточный резервуар с воздухом давлением 20 ат. Около каждой тележки располагалось два цилиндра: воздух давлением 20 ат поступал в цилиндр высокого давления, расширялся в нём до 10 ат, после чего направлялся в цилиндр низкого давления.

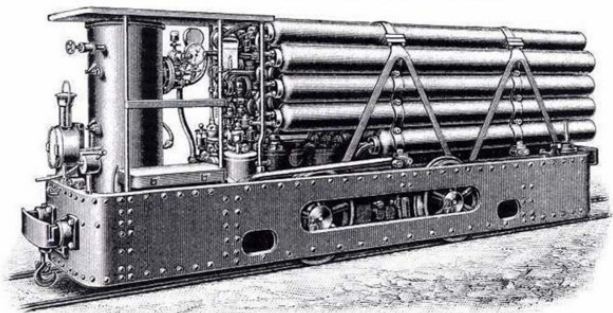
Устройства для зарядки воздухом находились на крыше в обоих концах локомотива. Также в каждом конце были установлены подогреватели, чтобы перед использованием подогреть запасённый воздух, увеличивая развиваемую мощность и предотвращая замораживание цилиндров, поскольку воздух при расширении охлаждался. Локомотивы были оснащены и тормозом Вестингауза, и ручными тормозами.

Мощность локомотивов, по-видимому, была недостаточной, поскольку в 1910 г. они были заменены электровозами. Скорее всего, эти электровозы имели питание от аккумуляторных батарей, поскольку иначе они не могли бы использоваться при отключении электроснабжения.

Сжатый воздух производился на заводе, располагавшемся недалеко от площади вокзала Монпарнас, тремя независимыми группами машинного оборудования. Каждая группа включала в себя питающийся электроэнергией, поставляемой от электростанции Исси по общей электросети, трёхфазный электродвигатель напряжением 5000 В, который служил

для привода вертикального компрессора Мекарского мощностью 200 л.с. с частотой вращения 100 об/мин. Завод использовал сжатый воздух давлением 6 ат, поставляемый компанией Compagnie Parisienne, которая распределяла сжатый воздух для энергетических целей через сеть труб под улицами Парижа, и поднимал его давление до 100 ат.

Компрессоры имели четыре цилиндра, и каждый компрессор мог поставлять 2000 кг воздуха в час. Воздух при конечном давлении хранился в шести группах из 20 баков, что имело существенное значение, так как сжатый воздух нужен для запуска локомотивов при перерывах электроснабжения. Рядом находились специальные средства для заполнения воздухоподогревателей (предположительно) горячей водой.



Симплонский пневмолокомотив. 1902 г.

Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Несколько сложных на вид локомотивов на сжатом воздухе были построены для сооружения Симплонского тоннеля швейцарским локомотивостроительным заводом в Винтертуре. Вертикальный цилиндр слева – это резервуар для подогрева воздуха. В статье ниже говорится, что бак был заполнен перегретой водой, то есть водой, которая могла бы перейти в пар, если бы не находилась под давлением. Это увеличивало теплоёмкость воды.

Симплонские тоннельные локомотивы. Симплонский тоннель связывает г. Бриг на юге Швейцарии с итальянским г. Домодоссоло у подножья Альп. Строительство началось в 1898 г., и тоннель был открыт в 1906 г. На локомотивах, построенных для строительства тоннеля в швейцарском городе Винтертур, установлено большое количество баллонов для хранения запаса сжатого воздуха, выполненных в виде труб малого диаметра, что свидетельствует о высоком давлении, принимая во внимание тот факт, что локомотивостроителей Винтертура не пугали высокие давления. Некоторые данные, характеризующие этот интересный локомотив, опубликованы в журнале «Compressed Air Magazine».

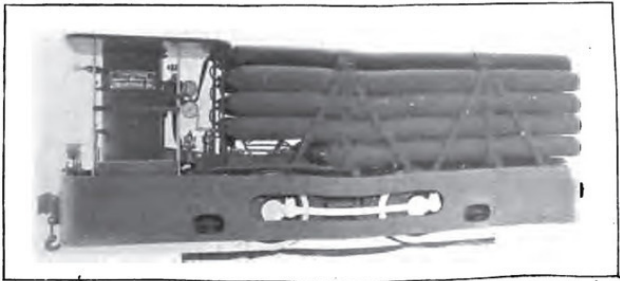
Suspended from the frame is a single cylinder driving engine with a pinion on its shaft. The pinion meshes into a large gear keyed to the rear shaft of the truck. Connecting rods on either side connect the rear and front wheels, thus insuring maximum tractive effort. The engines and gears are encased and run in oil insuring perfect lubrication and smooth running. The working air pressure is from 10 to 15 atmospheres and even at the lowest pressures of 10 atmospheres the engine can still develop a pulling power equal to the adhesion to the rails. The gear ratio is 1:3.25. The valve gear is built according to the Joy System and reverses in the ordinary way. Suitable springs and very powerful brakes are provided and the front and rear end are provided with cushions, coupling hooks and buffers. The storage tanks or reservoir consists of a series of Mannesmann tubes mounted in layers above the frame and rigidly held in place by straps and lateral braces. The combined capacity is 70 cubic feet and the storage pressure is from 70 to 80 atmospheres. The reservoirs are connected

up in such a way as to form three independent sections, so that should a leak occur in one it is only necessary to cut out this section when the engine will still have capacity enough to take it out of the tunnel or on to a siding so as not to interrupt traffic. The air passes from the reservoirs through a reducing valve whereby its pressure is dropped to from 10 to 15 atmospheres and then through a reheating tank, which is charged with superheated water, where its temperature is raised to such a point that the exhaust temperature occurs at only a few degrees above zero. In this way the efficiency of the outfit is increased and the exhaust air is of service for ventilating the tunnel.

The operator's seat is at the rear to one side of the reheating tank and all operating mechanism is conveniently placed so that he has full control of the locomotive without changing his position. Guard rails, lanterns, a whistle, and other attachments are provided making the locomotive complete in all respects and fully self-contained. The brake mechanism can be operated either by a lever or a hand screw and acts on all four wheels which insures a prompt and positive control. In operation the machine is quiet and very satisfactory and as can be seen from the picture is rather an attractive looking apparatus.

Фрагмент статьи о симплонском локомотиве.

Рабочее давление 10 – 15 ат, в баллонах 70 – 80 ат, что приблизительно вдвое меньше, чем у локомотива Харди (140 ат). Задняя ось приводилась от единственного цилиндра. Это должно было вызывать проблемы мёртвой точки, но упоминания об этом нет. Из журнала «Compressed Air Magazine», июль 1902, №5, p1906 Vol 7.



COMPRESSED AIR LOCOMOTIVES USED IN SIMPLON TUNNEL.

Симплонский локомотив. 1902 г.

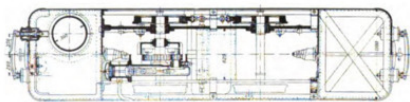
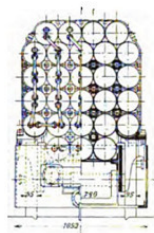
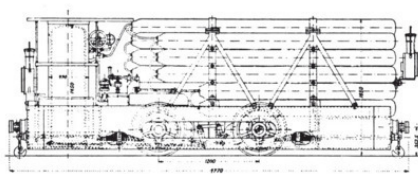
Это единственная фотография симплонского локомотива, найденная до сих пор. Из журнала «Compressed Air Magazine», июль 1902, №5, p1906 Vol 7.

Пневмолокомотивы тоннеля Лёчберг. Тоннель Лёчберг длиной 14,6 км находится на линии Лёчберг, соединяющей Шпиц и Бриг в северном конце Симплонского тоннеля в Швейцарии. Строительство началось в 1907 г. и закончилось в 1913 г. В тоннеле использовалось пять пневмолокомотивов, и сначала казалось вероятным, что они были теми же самыми машинами, которые использовались в Симплонском тоннеле, который открылся в 1906 г. Однако баллоны с запасом сжатого воздуха явно очень отличаются. Подтверждая это, «The Engineer» от 8 декабря 1911 г. говорит, что локомотивы Лёчберга были сделаны Thebault, Марли, Франция, а не в Винтертуре, как симплонские локомотивы.

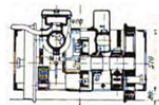
Два больших четырёхосных локомотива с семью баллонами

ми со сжатым воздухом общей ёмкостью 7.5 м^3 использовались для работы вне тоннеля. Два поменьше использовались для каменной кладки в тоннеле. Пятый, самый маленький, двухосный локомотив использовался при отделке предварительно пройденных участков тоннеля. Он имел баллоны ёмкостью 3 м^3 . Давление в баллонах локомотивов составляло около 120 ат.

Сжатый воздух для локомотивов подавался двумя двухцилиндровыми компрессорами типа duplex по 400 л.с. каждый, сделанными Мейером из Мюльхайма. Главные баллоны локомотивов заряжались воздухом под давлением около 120 ат со скоростью $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Компрессоры приводились в действие электродвигателями, питающимися от гидроэлектростанции с колёсами Пелтона.



DETAILS OF COMPRESSED AIR LOCOMOTIVE USED IN SIMPLON TUNNEL.



Симплонский пневмолокомотив. 1902 г.

Вид сбоку: нижние воздушные баллоны короче, чтобы иметь помещение для двигателя; план: видно как размещён двигатель; вид сверху: показано соединение воздушных баллонов; поперечное сечение локомотива, показывающее цилиндр двигателя. Из журнала «Compressed Air Magazine», июль 1902, №5, p1906 Vol 7.

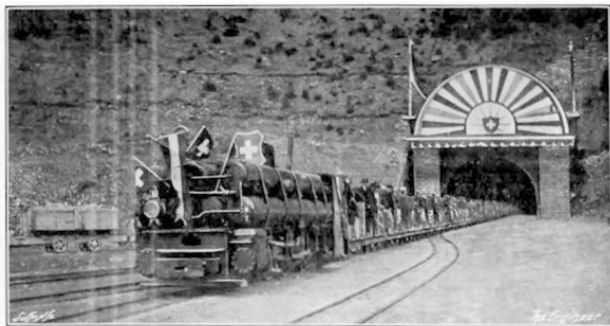


Fig. 5—AIR LOCOMOTIVE AT KANDERSTEG ENTRANCE TO TUNNEL

Лёчбергский пневмолокомотив. 1907 г. Фотография праздничного поезда, сделанная в марте 1911 г., когда тоннель был пройден.

От Фредерика А Тэлбота. «Железнодорожные чудеса мира», т. 1, стр. 109.



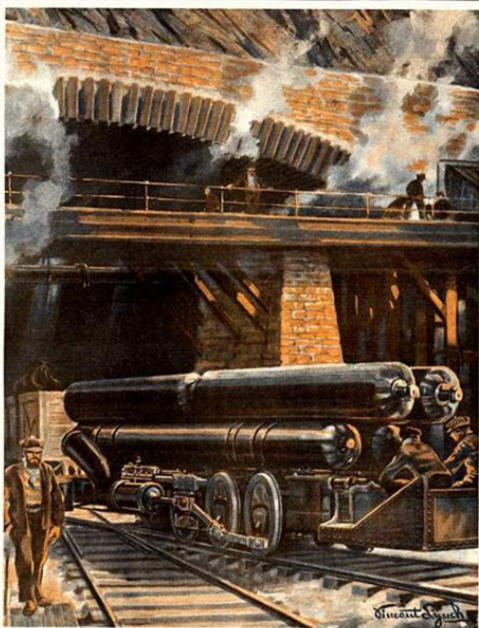
CHARGING A COMPRESSED-AIR ENGINE AT KANDERSTEG.

Лёчбергский пневмолокомотив. 1907 г. Перезарядка пневмолокомотива в Кандерстеге. От Фредерика А Тэлбота.

«Железнодорожные чудеса мира», т. 1, стр. 109.

Видны горизонтально расположенные цилиндрические баллоны с запасом сжатого воздуха и соединяющий их трубопровод, а также масляная лампа впереди. Будка находится сзади, где стоит человек (по-видимому, одной ногой на педали).

SCIENTIFIC AMERICAN



AMERICAN COMPRESSED AIR LOCOMOTIVE USED IN BORING THE ROVE TUNNEL—(See page 478)

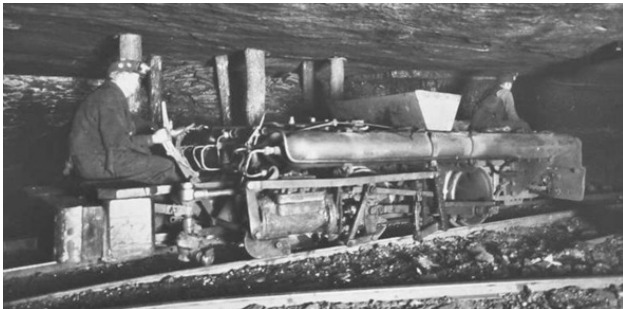
November 25, 1916

Munn & Co., Inc., Publishers
New York, N. Y.

Price 10 Cents

Американский пневмолокомотив.

Фото из журнала «Scientific American», 25 ноября 1916 г.



Пневматический локомотив угольной компании Hudson. 1930-е гг.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

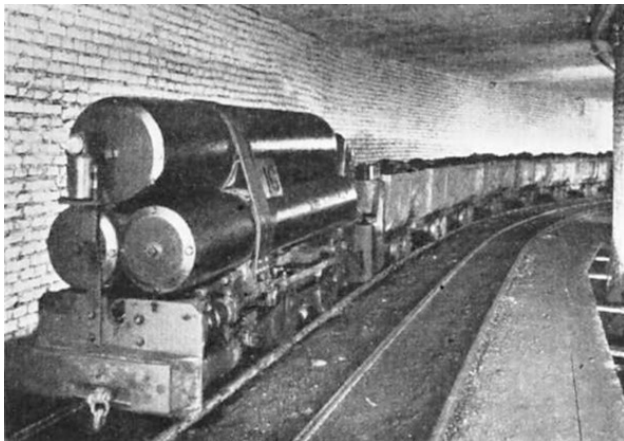
Об этой машине ничего неизвестно. Одно время Hudson была дочерней компанией, принадлежащей железнодорожной компании Delaware and Hudson Railroad Company. По всей видимости, все пневматические локомотивы, принадлежащие ей, были списаны к 1940 г.

Пневмолокомотивы для тоннеля Роув. На иллюстрации, приведённой в журнале «Scientific American», показан пневмолокомотив с четырьмя резервуарами в одном из порталов тоннеля Роув – семикилометрового канального тоннеля, построенного между 1911 и 1916 гг. во Франции, чтобы канал Марсель – Рона мог достигать гавани Марселя. Это самый длинный канальный тоннель в мире. В 1926 г. он был сдан в эксплуатацию, но просуществовал менее сорока лет.

16 июня 1963 г. в мергельной зоне произошёл обвал на двухсотметровой длине, в результате которого образовался кратер глубиной 15 м. С тех пор тоннель закрыт для движения.

Никакой информации о локомотиве до сих пор не найдено, но можно предположить, что выхлопной рожок, который виден в передней части локомотива, позволяет отнести его к конструкции Портера. По всей видимости, было четыре резервуара сверху и два снизу. Верхние резервуары кажутся больше нижних.

Немецкие пневматические локомотивы. В пневматических локомотивах часто использовалось несколько баллонов для хранения запаса сжатого воздуха, а не один большой резервуар. Это уменьшало напряжения в металле, что делало баллоны более экономичными в изготовлении. У этих локомотивов резервуары имели разные диаметры. Один такой локомотив изображён в книге, изданной English Universities Press в 1951 г.



Немецкий шахтный локомотив. Начало 1950-х гг.

Фото от Coal-Mining by I C F Statham, Professor of Mining, University of Sheffield. Опубликовано в 1951 г. English Universities Press.

По мнению профессора Стэтхэма, пневматические локомотивы не использовались в английских шахтах. По-видимому, он имел в виду 1951 г., поскольку они, конечно, использовались в Великобритании до 1900 г. Однако эти локомотивы широко использовались в Рурском каменноугольном бассейне в Германии, их количество увеличилось с 617 (в 1919 г.) до 1223 (в 1940 г.).

Сжатый воздух производился на поверхности в многоступенчатых компрессорах и поступал в шахты по трубам диаметром от 28,5 до 50,8 мм. Давление воздуха составляло

от 125 до 210 ат. Радиус действия локомотивов находился в пределах $4 \div 9,5$ км. Использовалось от одного до девяти баллонов, в которые закачивался сжатый воздух, время заряда составляло $1 \div 2$ мин. Локомотивы, которые поменьше, весили 6 т и развивали мощность 14 л.с., а те, что побольше, весили 10 т и имели мощность около 40 л.с. Рабочая скорость находилась в пределах $9,5 \div 11$ км/ч, а тяговое усилие варьировалось от 450 до 10600 кгс при трогании с места, и от 240 до 770 кгс при рабочей скорости.

Профессор Стэтхэм не был сторонником пневматических локомотивов. Он считал, что они неэффективны из-за потерь тепла при сжатии воздуха и шумные, не учитывая при этом, что для преодоления последнего недостатка можно использовать глушитель. Хорошо зарекомендовали себя автомобильные глушители, которые не вызывают противодействия. Стэтхэм также указывал на высокие капитальные и производственные затраты. Однако, капитальные затраты были высокими, скорее всего, из-за того, что эти локомотивы построены в относительно малых количествах, вследствие чего экономия за счёт увеличения их производства была небольшой. Что касается производственных затрат, то, возможно, он имел в виду низкую экономичность пневмолокомотивов, поскольку нет никаких видимых причин, объясняющих большие затраты на их эксплуатацию и обслуживание. Эксплуатационные расходы были, конечно, намного меньше, чем у паровозов.

Пневматический локомотив Юнга. Построен в 1955 г. У этого локомотива несколько резервуаров для хранения запаса сжатого воздуха. Все они одинакового размера. Давление в резервуарах 200 ат, мощность локомотива 20 л.с., его масса 5,6 т. Следует отметить, что давление в резервуарах возросло в пять раз по сравнению с локомотивом Диксона.



Пневматический локомотив Юнга PZ 20, построенный в 1955 г.

Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

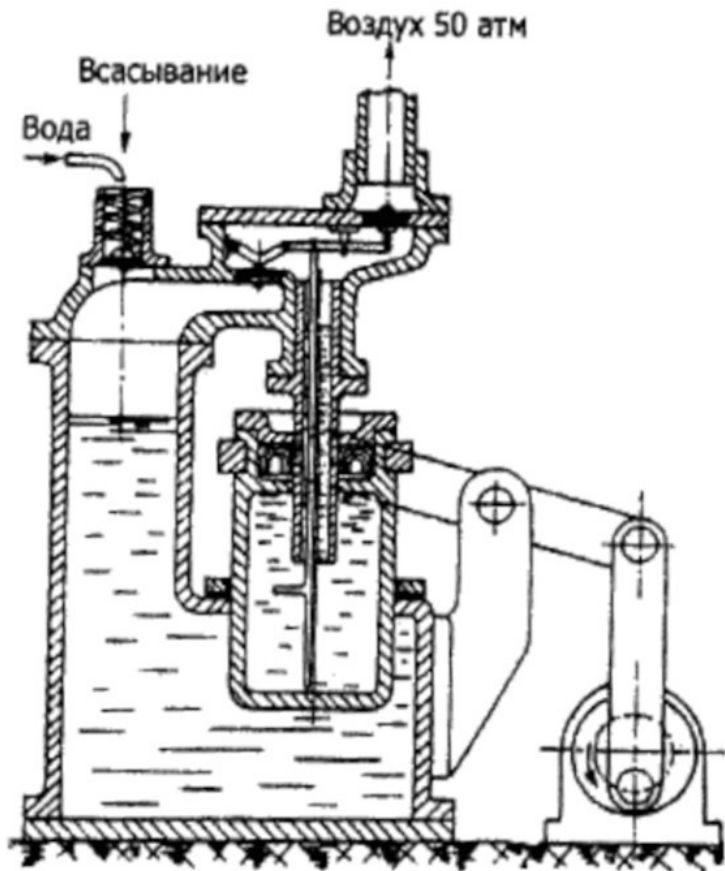
1.3. Духоход Барановского

В период строительства первой российской магистрали между Санкт-Петербургом и Москвой основным поставщиком локомотивов и вагонов для российских железных дорог стал Александровский механический завод, находившийся в Петербурге. Во второй половине XIX века, когда появились многочисленные крупные паровозостроительные предприятия, завод постепенно утратил свой приоритет в строительстве паровозов и приобрёл статус Главных паровозо- и вагоноремонтных мастерских Николаевской железной дороги.

В 1861 г. на Александровском заводе был построен первый в России локомотив, который должен был заменить паровоз. Двигатель локомотива приводился в движение не паром, а сжатым воздухом. Строительством необычного для того времени локомотива руководил его изобретатель С. И. Барановский. Он же дал своему детищу название «духоход» или «духовой самокат». Двигатели, подобные обычным паровым машинам локомотивов, были двухцилиндровыми – по одному горизонтальному цилиндру на каждую сторону локомотива. Но вместо горизонтальных плоских скользящих золотников были введены вертикальные цилиндрические. Привод колёс от двигателя был таким же, как и у паровоза. Поршни каждого цилиндра диаметром 150 мм

имели ход 300 мм. Судя по рисунку, который был сделан в 1862 г., на одной платформе находились как двигатель, так и баллоны со сжатым воздухом. Видимо, это был экспериментальный локомотив для проверки идеи на практике. Сжатый воздух, приводящий в движение воздушные машины, помещался в 34 горизонтальных трубах (баллонах) диаметром 150 мм и длиной 2100 мм каждая. Баллоны были соединены между собой трубами меньшего диаметра. Для управления машинами имелись краны, манометр, рычаг с тягой к золотнику. Тендер для воды и топлива отсутствовал. Для двух машинистов соорудили небольшую крытую площадку.

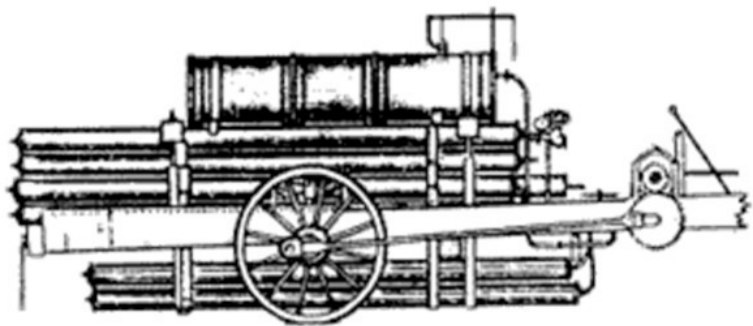
Для духохода, который должен был появиться на железных дорогах, С. И. Барановский предусматривал специальный прицепной вагон. По идее изобретателя, каждый самокат должен был везти за собой духовик – вагон с баллонами сжатого воздуха, после расходования которого в течение 2 – 3 часов машинист отцеплял вагон с опустевшими баллонами, а вместо него прицеплял запасной вагон с заправленными ёмкостями. Поезд, практически не задерживаясь, двигался дальше, а вагон с пустыми баллонами подавался на зарядку. В 1860 г. С. И. Барановский специально для этого сконструировал компрессор.



Воздухосжиматель (компрессор) Барановского.
1860 г.

Иллюстрация к статье П. Кривской «Петербург-

Сообщение об испытании этой уникальной машины на Николаевской железной дороге было напечатано в популярной газете «Северная почта» в разделе «Замечательные новости» в феврале 1862 г. Объявление заканчивалось приглашением «на маленькое начало чего-то большого». Возможность прокатиться на уникальном локомотиве привлекла внимание не только любопытных, но и многих специалистов, интересующихся возможностями применения сжатого воздуха. Прежде всего их интересовало устройство для получения сжатого воздуха (компрессора).



Духоход (самокат) Барановского. Рисунок сделан с натуры. 1862 г.

Иллюстрация к статье П. Кривской «Петербургский „Духоход“», «Наука и жизнь», 2003, №6.

Об испытаниях духового самоката говорил весь Петербург. О техническом новшестве писали газеты и журналы. Например, принимавший участие в поездках на этой уникальной машине П. Д. Кузьминский – юнкер флота, будущий изобретатель первой в мире газотурбинной установки, ученик известных русских учёных И. П. Алымова и Д. И. Менделеева, писал в «Морском сборнике»:

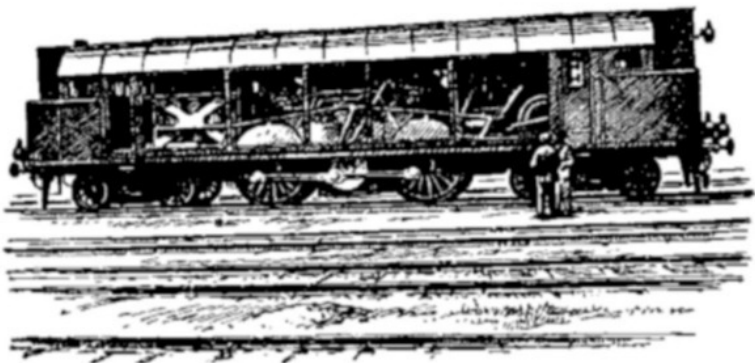
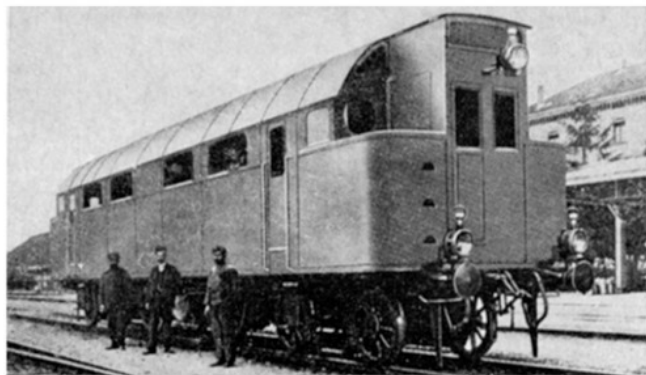
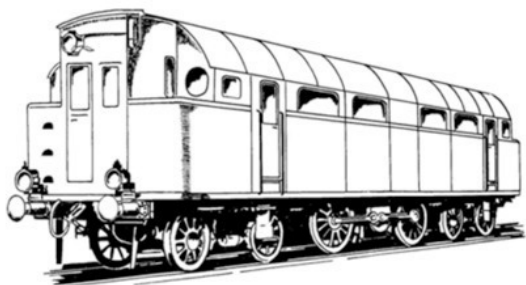
«В газетах прочёл я, что г. Барановский намерен показать публике применение сжатого воздуха к движению по железной дороге. Дав себе обещание непременно побывать на всех трёх опытах, что мне и удалось сделать, я радовался такой новинке, но иногда на меня находили минуты неверия, и я сомневался в выгодном осуществлении этого применения воздуха.

27 декабря в 3 часа пополудни я был на дебаркадере Николаевской железной дороги, где производились опыты с новой машиной. Из локомотивного сарая пришёл локомотив и привёл за собой какое-то собрание труб, окрашенных дикой краской, а около этих труб маленький передаточный механизм прямого действия. К духоходу прицеплен был один вагон, который, разумеется, тотчас же по приходе... был наполнен любопытными, успевшими в него поместиться. Поезд тронулся и громкое «ура!» понеслось за ним...»

После проведённых испытаний началось движение поездов с локомотивом, работающим на сжатом воздухе, которые

ходили между Петербургом и Царским Селом вплоть до лета 1862 г. Водил их сын изобретателя Владимир, в будущем выдающийся конструктор и изобретатель артиллерийских орудий, ставших прообразом современной скорострельной артиллерии.

Локомотив был довольно совершенным в техническом плане устройством, использующим передовые идеи того времени. Тем не менее, в том же 1862 г. локомотив был снят с эксплуатации, так как был технически слишком сложен для своего времени.



Глава II

ТЕПЛОВОЗЫ

С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ

ПРИВОДОМ

2.1. Проблема создания тепловоза с непосредственным приводом и пути её решения

Идея применения для тяги поездов двигателя внутреннего сгорания, обладающего более высоким коэффициентом полезного действия по сравнению с паровой машиной, возникла у российских инженеров ещё в конце XIX века.

Так, в 1894 г. по идее профессора В. Л. Кирпичёва разрабатывался первый русский проект тепловоза, который назывался нефтевозом, поскольку должен был иметь двигатели, работающие на нефти. Таким образом, история отечественного тепловозостроения началась за три года до создания Рудольфом Дизелем двигателя с самовоспламенением от сжатия, рождение которого произошло лишь в 1897 г.

В. Л. Кирпичёв, как и многие изобретатели того време-

ни, пытался связать поршни, перемещающиеся в цилиндрах двигателя, и ведущие колёса локомотива непосредственно. В таких проектах предполагалось для трогания с места подавать в цилиндры пар или сжатый воздух, а после набора скорости – нефть. На нефтевозе Кирпичёва предполагалось применить калоризаторные двигатели, являющиеся предшественниками дизелей. Воспламенение топлива в таких двигателях осуществлялось с помощью калильной головки – калоризатора, а сами двигатели имели относительно низкую степень сжатия. Помимо цилиндров двигателей внутреннего сгорания, предполагалось установить цилиндры, работающие паром. С помощью последних намечалось осуществлять трогание и первоначальный разгон нефтевоза, после чего переходить на совместную работу этих цилиндров с цилиндрами двигателей внутреннего сгорания. Таким образом, локомотив профессора Кирпичёва был как бы прообразом теплопаровоза.

Появление дизелей в России и организация постройки их на русских заводах вызвали большой интерес к этим двигателям.

В Императорском Московском техническом училище¹⁴, Технологическом, Политехническом и других институтах было введено изучение двигателей этого типа. В Обществе технологов, Русском техническом обществе и других техни-

¹⁴ С 1917 г. Московское высшее техническое училище (МВТУ), ныне МГТУ им. Баумана.

ческих обществах неоднократно делались доклады по этому вопросу. По созданию конструкций двигателей для тепловозов, а также самих тепловозов деятельно работали конструкторские бюро Путиловского, Коломенского, Харьковского и других заводов.

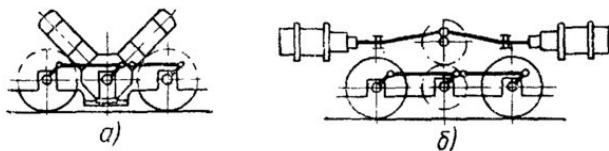
Однако какой-либо последовательности разрешения тепловозной проблемы в этот период отметить нельзя.

Устройство и первые проекты тепловозов с непосредственным приводом. В 1904 г. работники Владикавказской ж. д. разработали технический проект локомотива, объединяющего паросиловую установку и двигатель внутреннего сгорания. Первым типом подобного нефтевоза был паровоз с дополнительным нефтяным двигателем. В передней части такого локомотива размещалась двухцилиндровая паровая машина, а в задней – двигатель внутреннего сгорания, который имел два воздушных и два рабочих цилиндра. Воздушные цилиндры располагались внутри рамы и подавали сжатый до 35 ат воздух в рабочие цилиндры, расположенные снаружи рамы. При поступлении в цилиндры сжатый воздух захватывал нефть, подаваемую специальным насосом, и вдувал её в цилиндры. Сгорание нефти происходило под влиянием высокой температуры сжатого воздуха при постоянном давлении.

В 1906 и 1913 гг. изучались вопросы улучшения тепловых процессов нефтевоза, а также различные варианты расположения цилиндров и кинематической связи двигателя с дви-

жущими осями.

Тепловозы с непосредственным приводом¹⁵ характеризуются тем, что их движущие оси соединяются спарниками либо напрямую с валом дизеля, либо с промежуточным отбойным валом, который дизель приводит во вращение. Для езды без топлива дизель должен снабжаться декомпрессионными устройствами по типу приборов беспарного хода на паровозах, причём в этот период будет излишний износ движущихся частей.



Способы соединения двигателя с колёсами в тепловозе с непосредственным приводом.

а) по концам коленчатого вала двигателя находятся два кривошипа, соединённые спарниками с кривошипами ведущих осей, причём с целью устранения добавочных сил и моментов коленчатый вал двигателя располагают на линии центров сцепных осей; б) по линии центров сцепных осей ставят отбойный вал, соединяющийся с валом двигателя шатунами или шестернями.

¹⁵ По-другому их называют тепловозами непосредственного действия.

Двигатель внутреннего сгорания предпочтительнее размещать на раме локомотива внутри кузова или закрывая его от окружающей среды капотом; в противном случае требуется применять незамерзающие жидкости для охлаждения двигателя или искусственный обогрев во время стоянок тепловоза. Рама тепловоза должна соединяться с осями при помощи рессор, что способствует уменьшению динамических нагрузок на оси тепловоза и на путь, при этом коленчатый вал двигателя не совмещается с ведущей осью, а служит отбойным валом, от которого передаётся движение осям через дышловую передачу. Двигатель внутреннего сгорания требует наблюдения за работой отдельных деталей во время езды, следовательно, к этим частям должен быть свободный доступ.

Расположение двигателя на раме валом поперёк продольной оси тепловоза имеет преимущество — при соединении с осями можно обойтись без конических шестерен. Чтобы иметь силу тяги локомотива, ограниченную только сцепным весом, нужно увеличивать размеры цилиндра или их количество. Однако количество цилиндров по условиям габарита ограничивается, поэтому в тепловозах большой мощности необходимо переходить к двигателям типа тандем, так как при поперечном расположении вала двигателя и V-образном расположении цилиндров не получается разместить на раме больше 4 – 6 цилиндров. Мощность двигателя тандем может

быть очень большой, но конструкция получается тяжёлой. Лучшее решение может быть достигнуто при переходе к W-образному расположению цилиндров или в виде полужезды, а также к сочленённым схемам типа Маллета.

Для тяговой службы более приемлем двухтактный двигатель, потому что его конструкция проще, размеры его при одном и том же количестве цилиндров будут меньше, объём ремонта снижается, следовательно, эксплуатация такого двигателя будет дешевле более сложного четырёхтактного двигателя.

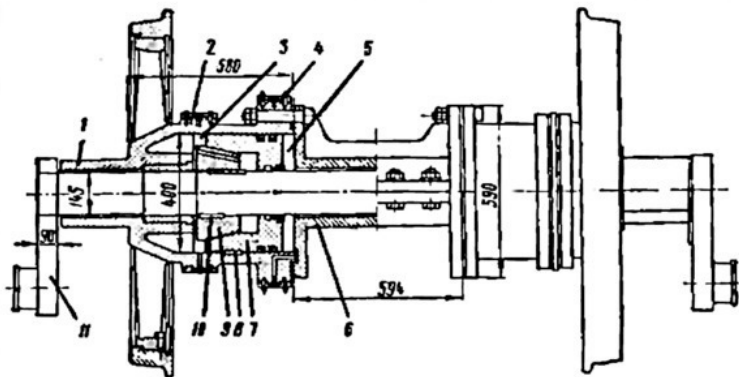
Меньшая стоимость двигателя достигается путём применения двухтактных двигателей двойного действия и возможно меньшего числа цилиндров. Давление вспышки должно быть по возможности низким. Наименьшая частота вращения главного двигателя, дающая вспышку, также должна быть по возможности низкой, чтобы иметь возможность применять небольшую и лёгкую пусковую вспомогательную машину, которую при этом необходимо органически связать в работе с главным двигателем.

Желательно, чтобы потери в сопрягающих элементах между двигателем и движущими колёсами не превышали 3 – 4%, при этом, когда дизель работает по нормальному циклу (без наддува и искусственного запала смеси), экономичность его работы должна быть не ниже экономичности дизеля, работающего с различными системами передач.

В 1909 г. начальник службы тяги Ташкент-

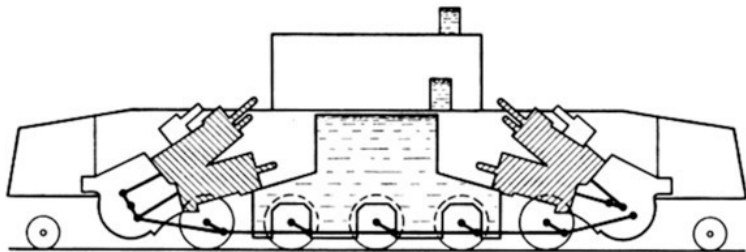
ской ж. д. Ю.В. Ломоносов начал заниматься разработкой проекта тепловоза с непосредственным приводом вместе с инженером А. И. Липецем и техником Тутьшкиным. Довести свои задумки до конкретного воплощения Ломоносов в то время не смог – в 1910 г. его переводят на Николаевскую дорогу в Петербург, а затем назначают помощником начальника Управления тяги всех русских железных дорог. Над проектом продолжает работать А. И. Липец и завершает его уже в Оренбурге.

Тепловоз Липеца имел два четырёхцилиндровых двигателя с наклонными цилиндрами, работавшими на два отбойных вала, расположенные по концам тепловоза. Отбойные валы были связаны дышлами с ведущими осями тепловоза, которые вращались внутри полой отливки, связывавшей оба колеса. Для обеспечения пуска дизеля при нулевой скорости локомотива в проекте была предусмотрена фрикционная пневматическая муфта, допускающая работу со скольжением. Разработанная А. И. Липецом, она служила для заклинивания колёс на осях при работе двигателя под нагрузкой или расцепления их при пуске и холостой работе двигателя. Макетный образец такой муфты был испытан на паровозе типа 0—3—0 серии Т с наружными рамами. Муфты сцеплялись и расцеплялись хорошо, но вследствие утечки воздуха они могли работать в сцепленном состоянии только 5 – 7 мин.



Муфта Липеца.

Муфта состоит из ступицы 1, отлитой вместе с колёсами, корпуса 6, соединённого с нею болтами, и чугунного поршня 7, который может скользить вдоль ступицы 1 и благодаря шпонке 8 вращаться только вместе с ней. Другими словами, части 1, 6 и 7 должны вращаться вместе с колёсами. Насадка 9 шпонкой 10 жёстко соединяется с осью 11, которая должна приводиться в движение дизелем. Направляя сжатый воздух через кольцо 4 в полость 5 и сдвигая тем самым поршень 7 влево, можно заклинить колесо с осью. Подачей воздуха через кольцо 2 в полость 3 производится расцепка их.



Проект тепловоза Липеца.

V-образные двигатели с наклонными цилиндрами установлены на брусковой раме специальной формы.

Колёсные пары с этими муфтами находились в одном из петербургских депо, куда они были привезены в 1912 г. для продолжения опытов. Петербургский тормозной завод предлагал изменить подвод воздуха и брался изготовить такие муфты, гарантируя отсутствие утечки воздуха.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.