

ЕВГЕНИЙ ЛОСЕВ

ТЕПЛОВОЗЫ

ВЕХИ НЕПРОЙДЕННОГО ПУТИ



Евгений Лосев

**ТЕПЛОВОЗЫ. Вехи
непройденного пути**

«Издательские решения»

Лосев Е.

ТЕПЛОВОЗЫ. Вехи непройденного пути / Е. Лосев —
«Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-905245-2

Книга посвящена тепловозам с непосредственным и компрессорным приводом. 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, а также лицам, интересующимся историей железнодорожного транспорта.

ISBN 978-5-44-905245-2

© Лосев Е.
© Издательские решения

Содержание

ОТ АВТОРА	6
ВВЕДЕНИЕ	8
Глава I	14
1.1. Локомотивы на сжатом воздухе	15
1.2. Зарубежные пневмолокомотивы	17
1.3. Духоход Барановского	44
Глава II	47
2.1. Проблема создания тепловоза с непосредственным приводом и пути её решения	48
2.2. Тепловоз «Термо» Общества Diesel-Klose-Sulzer GmbH	98
2.3. Тепловоз завода Ansaldo	110
Конец ознакомительного фрагмента.	111

ТЕПЛОВОЗЫ

Вехи непройденного пути

Евгений Лосев

Рецензенты А. Г. Иоффе, В. С. Руднев

Фото на обложке: Tony Hisgett

© Евгений Лосев, 2018

ISBN 978-5-4490-5245-2

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 этом малоэкономичном источнике энергии зависело от конкретных условий эксплуатации, но так или иначе это снижало коэффициент полезного действия тепловоза, особенно при разгоне паром. Разновидность тепловоза с непосредственным приводом, использующего для разгона пар и известного как теплопаровоз, обычно выделяется в самостоятельный тип локомотива; 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 того, 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 пневмолокомотивов, а также компрессорных тепловозов.

Написать эту книгу побудили научные изыскания, проведённые автором в 2013 – 2014 гг. при разработке двигателя внутреннего сгорания с регулируемым крутящим моментом².

Именно тесная взаимосвязь между непосредственным и компрессорным приводом 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, опи-

¹ Реже – каким-либо другим двигателем.

² В результате этих работ получено два патента.

санных 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, 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 этого типа локомотивов.

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.

³ Этим объясняется большой объём книги.

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 к тяге поездов путём использования промежуточных передач – электрической, гидравлической, пневматической, зубчатой, смешанной, – играющих роль трансформатора частоты вращения и крутящего момента, передаваемого 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 Рудольфа 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 требуется 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, Г. К. Хлебников, М. И. Пригоровский, Е. Е. Лонткевич 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.

Тепловозы с электрической и другими видами применяемых в настоящее время передач полностью устраняют все трудности пуска в ход и гарантируют в большей или меньшей степени необходимую эластичность тяговой характеристики. Но они 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 обод 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.

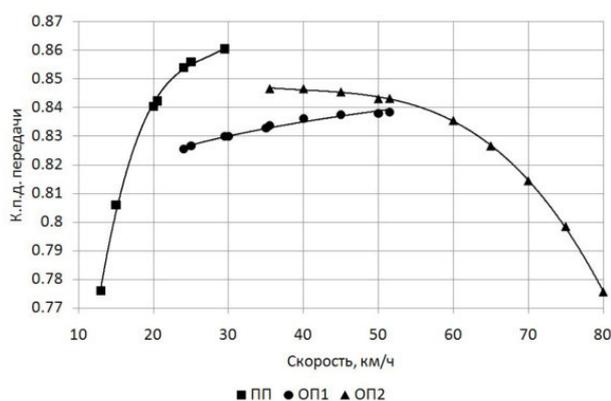
При электрической передаче повышение веса локомотива выражается примерно в 25%, а первоначальной стоимости – в 33%, при гидравлической передаче – в 10 и 20%, соответственно, при механической передаче – в 12 и 15%.

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 вентиляции 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 боксования приходится применять специальные противобоксовочные устройства. Таким образом, электрическая передача значительно усложняет конструкцию и увеличивает стоимость тепловоза, а также усложняет его эксплуатацию и ремонт.

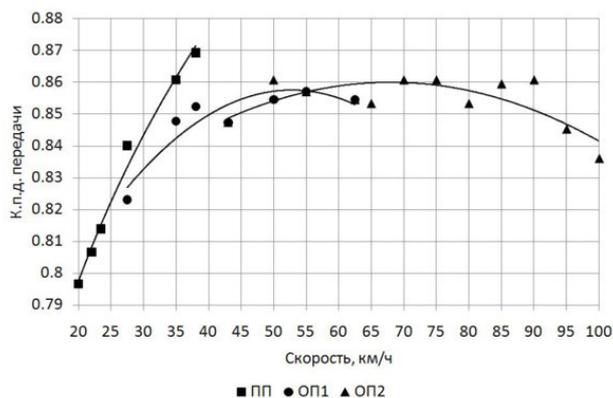


Коэффициент полезного действия электрической передачи тепловоза ТЭЗ⁴.

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.

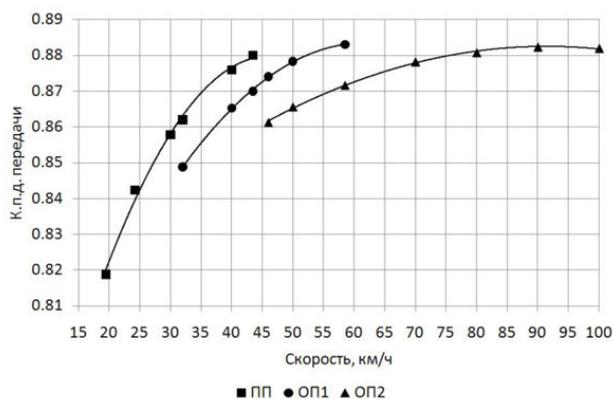
Интенсификация вентиляции и использование конструкционных материалов, допускающих более высокие нагрузки, неизбежно ведёт к возрастанию затрат энергии на охлаждение при эксплуатации тягового электродвигателя и повышению его цены. С ростом секционной мощности энергетических установок тепловозов эти затраты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

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



Коэффициент полезного действия электрической передачи тепловоза 2ТЭ10.

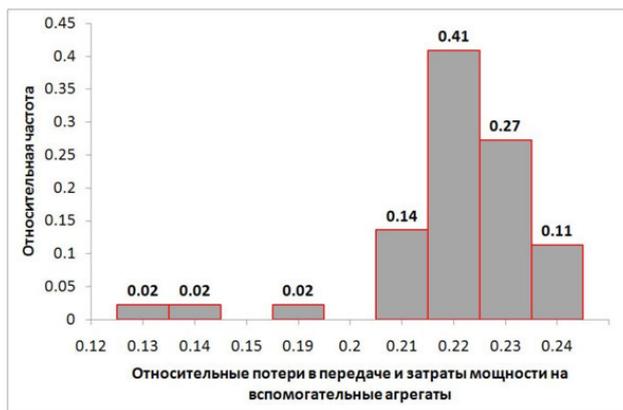
Анализ паспортных тяговых характеристик тепловозов с электрической передачей показывает, что мощность тепловоза ТЭЗ на ободе колёс составляет $77 \div 86\%$ (в среднем 83%) от мощности, реализуемой на валу дизеля. У тепловозов 2ТЭ10 различных модификаций аналогичные показатели составляют, соответственно, $80 \div 87$ (85%), а у 2ТЭ116 – $82 \div 88$ (87%). Приведённые данные относятся к максимальным позициям контроллера машиниста (16-й у ТЭЗ и 15-й у 2ТЭ10 и 2ТЭ116)⁵.



Коэффициент полезного действия электрической передачи тепловоза 2ТЭ116.

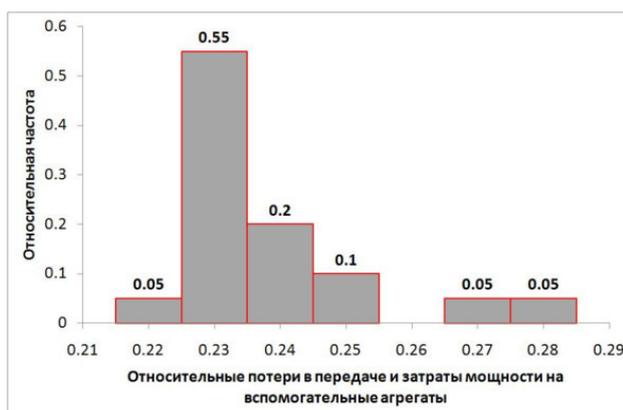
Для сравнения интересно посмотреть данные, полученные из материалов испытаний тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В. Эти данные, приведённые в виде гистограмм частотных распределений потерь мощности в электрической передаче в реальных условиях работы тепловозов с учётом переменных режимов и переходных процессов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

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.



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

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.



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 гидропередачей 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 гидропередачей нашли применение на промышленном транспорте. Наибольшее распространение тепловозы с гидропередачей 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

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

тяги во всём диапазоне её регулирования. Переключения ступеней сопровождаются провалами силы тяги и большими динамическими нагрузками в передаче, поэтому механическая 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.

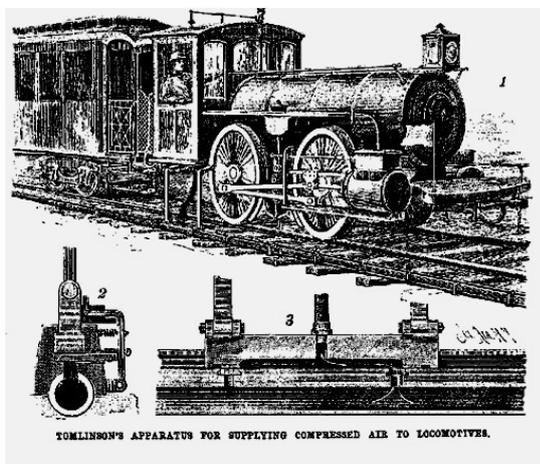
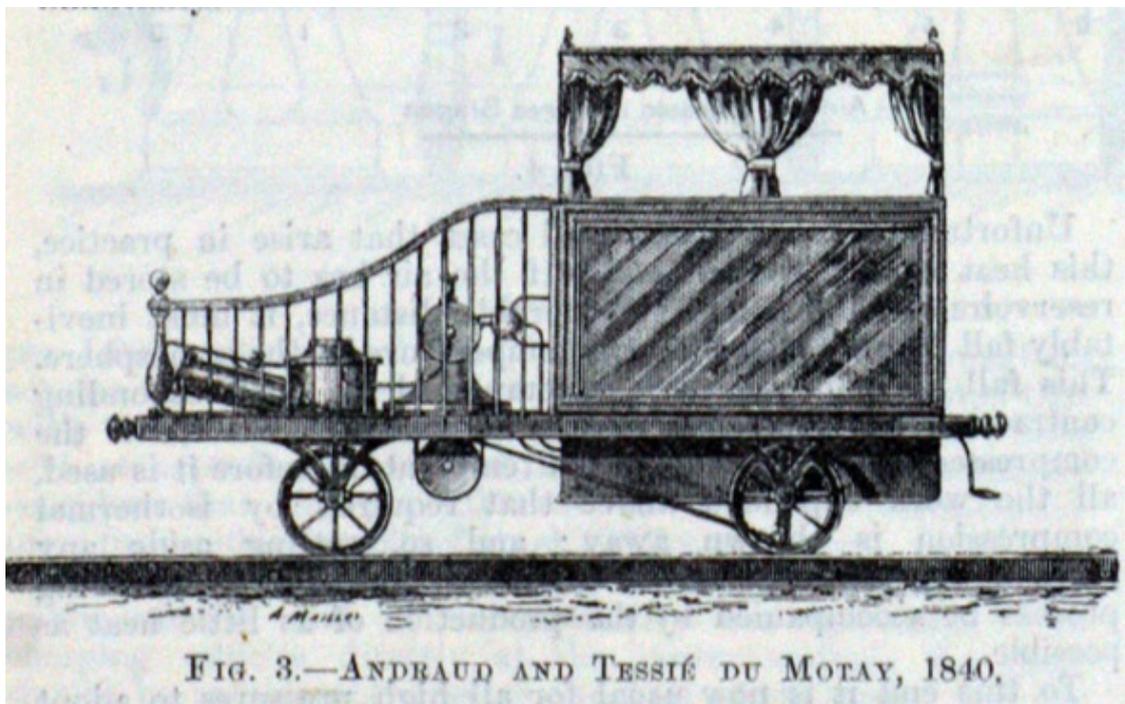
Из вышесказанного следует, что проблему тепловоза нельзя считать окончательно решённой применением передач. Правда, многократные попытки решить проблему иным путём до сих пор не привели к успеху, но каждая из этих попыток, обнажая новые и новые противоречия, ближе и ближе ведёт к цели. Появившись в своё 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 воспламенять топливо при весьма низкой скорости. Он должен быть простым, надёжным в эксплуатации и дешёвым.

Наличие такого двигателя дало бы возможность построить 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.

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 стейфенсоновского паровоза как альтернатива паровой тяги.

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, приводятся в движение пневмодвигателями. Такой привод называется пневматическим. Эти локомотивы появились намного раньше, чем были выполнены проекты первых тепловозов.

У пневмолокомотивов отсутствует собственный генератор энергии, они используют готовую энергию в виде сжатого воздуха, приготавливаемого 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.

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.

Баллоны для хранения сжатого воздуха разрабатываются в соответствии с требованиями безопасности для сосудов, работающих под давлением.

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, использующих для разгона сжатый воздух.

При использовании на локомотивах сжатого воздуха в качестве рабочего тела возникает ряд проблем.

Сжатый воздух имеет низкую энергетическую плотность. При давлении 300 атм⁷ его энергетическая плотность не превышает 30 кВтч/м³ (с учётом возможности нагрева воздуха), что сопоставимо с ёмкостью электрохимических свинцовых аккумуляторных батарей. Однако по мере разрядки 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, если сжимать воздух

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 «атм» (стандартная атмосфера, 1 атм ≈ 0,1 МПа). В противном случае указывается «ата» или «ати», соответственно.

в двух или более ступенях, охлаждая его между ступенями, но всё равно они 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.

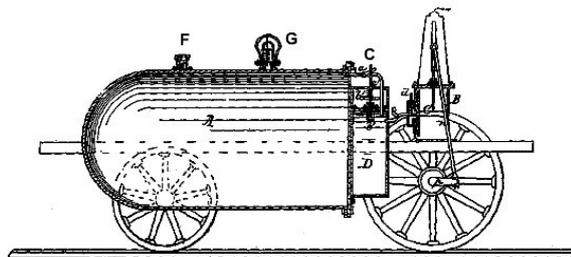
Принципиальным недостатком является не прямое использование энергии. Сначала энергия используется для сжатия воздуха, а потом от сжатого воздуха передаётся двигателю. Каждое преобразование энергии осуществляется с потерями, что обуславливает более низкий коэффициент полезного действия пневмолокомотивов чем, например, дизельных или, тем более, электротранспорта.

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 пневмолокомotiveы

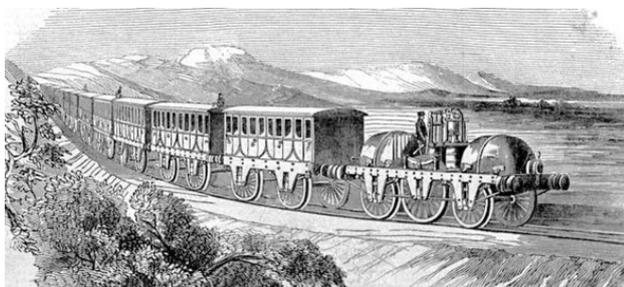
Пневматический локомотив Парсея. В 1839 г. Артур Парсей получил английский патент (№8,093) на локомотив, приводимый в движение сжатым воздухом. После им было получено ещё два английских патента: в 1844 г. и 1854 г. (№88). Он также получил американский патент (№5,205) в 1847 г.

Локомотив был предназначен для работы в угольной шахте, но доподлинно неизвестно, был ли он на самом деле построен.

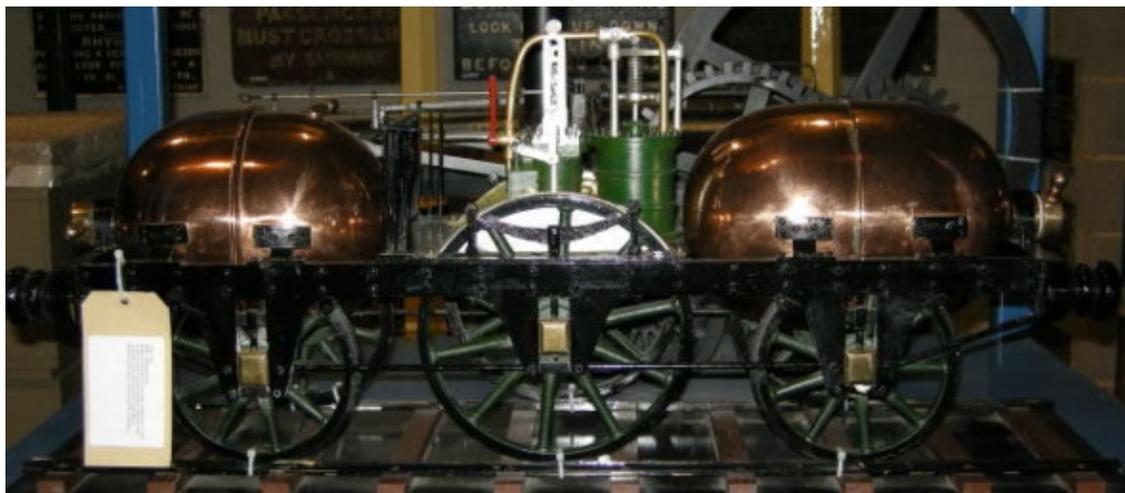


Пневматический локомотив Парсея. 1847 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Резервуар А заполнялся воздухом, «сжатым до такой степени, как это было совместимо с безопасностью», который подавался в камеру D, давление в двигателе поддерживалось автоматическим редуцирующим клапаном C, через который воздух по трубам подавался в шпильевидный вертикальный двигатель двойного действия B. Клапан F служил для зарядки воздухом, а G являлся предохранительным клапаном.



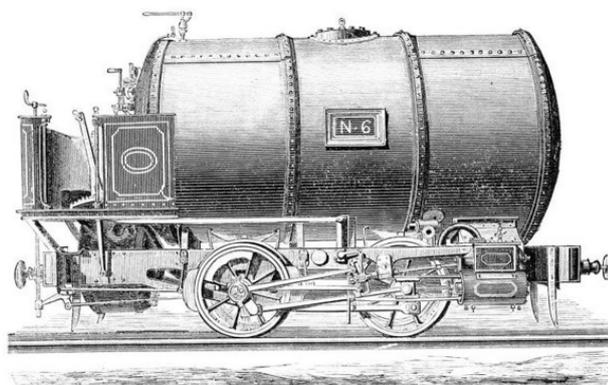
Современная иллюстрация локомотива на сжатом воздухе Парсея. Так как в настоящее время неизвестно, был ли он построен, то эта сцена может быть воображаемой. Источник и дата изображения неизвестны. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».



Модель пневмолокомотива Парсея. Эта модель находится в Йоркском железнодорожном музее в Англии. По словам сотрудников музея, модель была построена в 1845 г. для демонстрации патентов. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Судя по всему, локомотив имел всего один цилиндр, который, должно быть, давал проблемы в мёртвой точке.

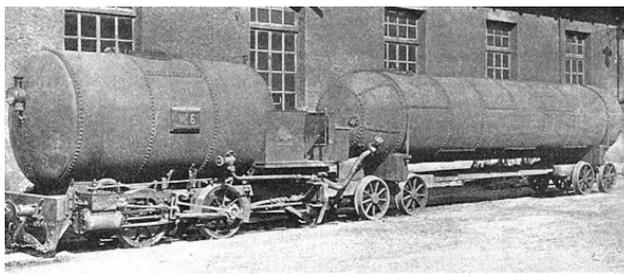
Использование ресивера пониженного давления между основным резервуаром и двигателем впоследствии было характерно для многих подобных устройств.



Пневматический локомотив, используемый 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.

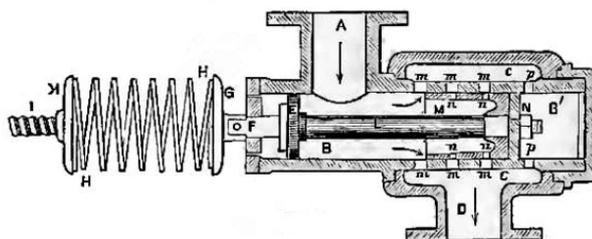
Пневматические локомотивы для Сен-Готардского тоннеля. Сен-Готардский железнодорожный тоннель в Лепонтинских Альпах был построен в 1871 – 1881 гг. Его длина 15 км, и через него проходит самый высокий участок Готардской железной дороги в Швейцарии, соединяя Гёшенен с Айроло. Это первый тоннель, который пересёк перевал Сен-Готард. В тоннеле уложены два пути нормальной европейской колеи.



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. Использовались два обычных паровоза, по одному с каждой стороны тоннеля, но вместо воды котлы были заполнены сжатым воздухом давлением 4 атм. 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.

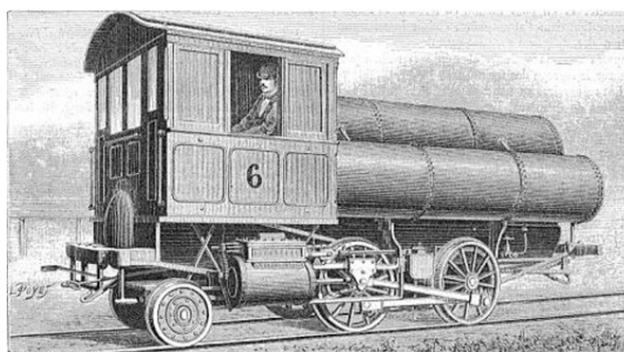
Первоначально воздух подавался прямо в цилиндры с ограничением степени наполнения путём изменения отсечки. Это оказалось неудовлетворительным, и М. Рибур, инженер, работающий на строительстве Сен-Готардского тоннеля, изобрёл этот клапан для снижения давления. Воздух из основного бака входит в патрубок 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 m 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. Источник: журнал «Popular Science Monthly», т. 10, 1877.

Рабочее давление составляло 7,35 атм, 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.

Журнал «Popular Science Monthly» отмечал, что редукционный клапан Рибура был важным шагом вперёд, но подобные устройства, скорее всего, применялись ранее Андро и дю Мотэ, Бэроном фон Ратленом, Артуром Парсеем и другими.

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



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

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

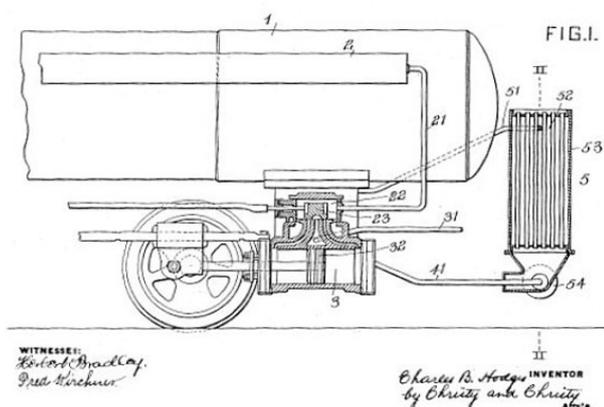


Чертёж к американскому патенту №868,560 выданному Ходжесу на подогреватель окружающим воздухом в октябре 1907 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives». Воздух из основного бака 1 проходит во вспомогательный резервуар 2 через редукционный клапан и затем через трубу 21 к цилиндру высокого давления 3. Холодный отработанный воздух от него идёт через трубу 31 к межнагревателю⁸ 5. Там он нагревается окружающим воздухом и затем 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.

⁸ Ходжес называл свое устройство межнагревателем, а не подогревателем, как его назвали бы сегодня. Интригующе он обращается к улучшению межнагревателей, которое подразумевает, что идея была уже известна. По-видимому, это были грелки или коксовые печи.

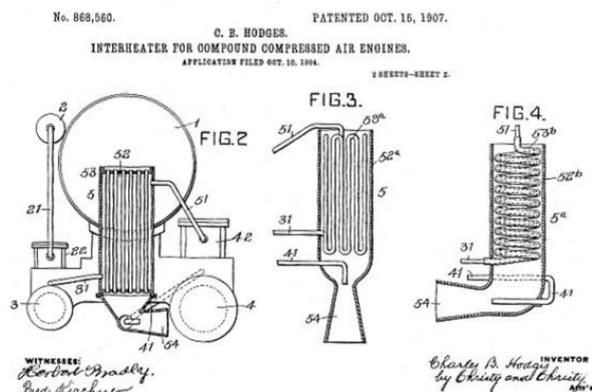
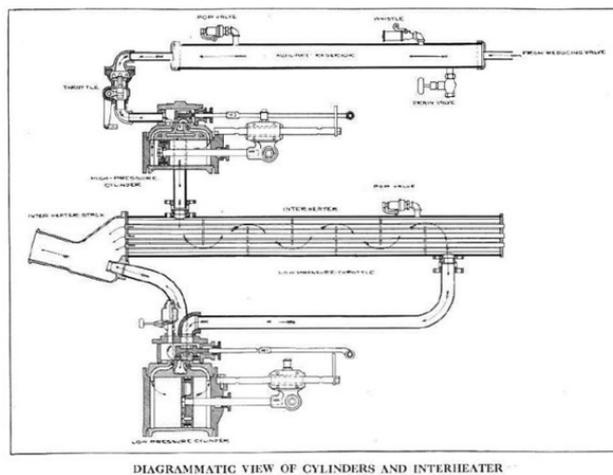


Чертёж к американскому патенту №868,560 выданному Ходжесу на подогреватель атмосферным воздухом в 1907 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

1 — основной воздушный бак; 2 — вспомогательный резервуар; 3 — цилиндр высокого давления; 4 — цилиндр низкого давления; 5 — межнагреватель; 54 — эжектор. В практических проектах рожок эжектора был показан по диагонали вверх, по-видимому, чтобы не поднимать пыль с насыпи железной дороги. Патент был продан локомотивной компании Х К Портера. Она построила первую систему с двукратным расширением в 1908 г.



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 атм редуционным клапаном, 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.



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

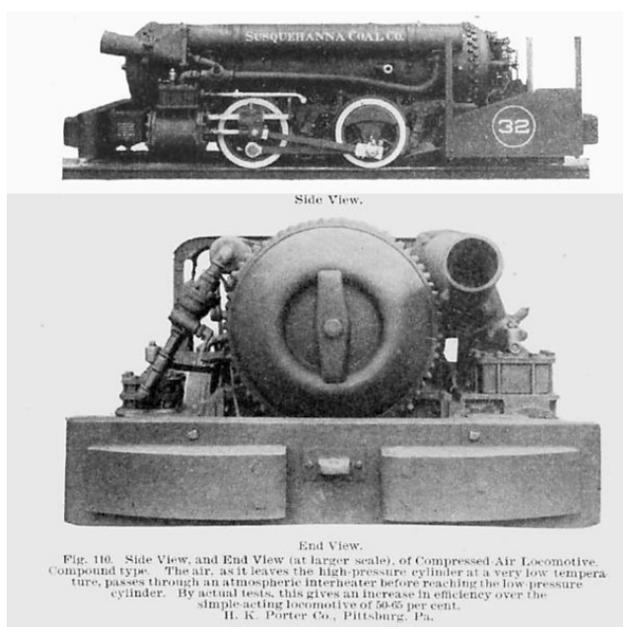


Fig. 110. Side View, and End View (at larger scale), of Compressed Air Locomotive, Compound type. The air, as it leaves the high-pressure cylinder at a very low temperature, passes through an atmospheric interheater before reaching the low pressure cylinder. By actual tests, this gives an increase in efficiency over the simple-acting locomotive of 600 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 Технической 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».

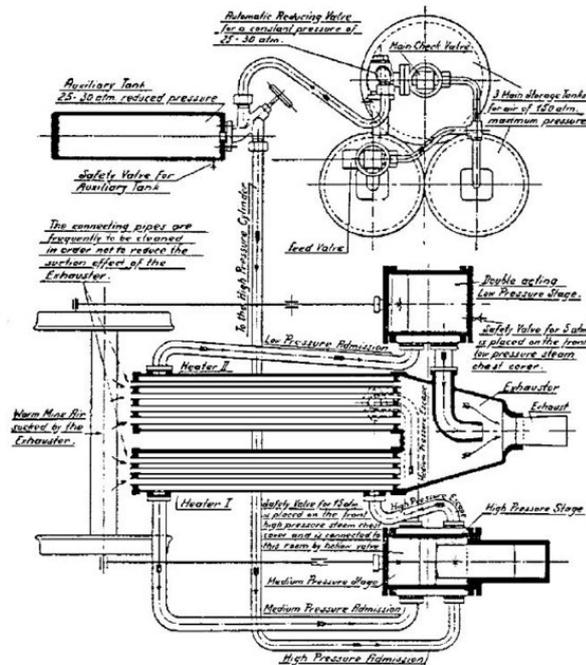


FIG. 3.—EXPLANATORY DIAGRAM OF TRIPLE-EXPANSION COMPRESSED-AIR LOCOMOTIVE WITH DOUBLE INTERMEDIATE HEATING.

Чертёж шахтного локомотива троекратного расширения с промежуточным подогревом окружающим воздухом, 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 атм, во вспомогательном резервуаре 25 – 30 атм.



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 атм, которое было редуцировано из давления в основном баллоне 50 атм. 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 атм. Для того, чтобы подогреватель оставался горя-

чим, 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. Джозеф 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 предполагают, что для нагрева воздуха перед цилиндром высокого давления, а также подогрева его между цилиндрами высокого и низкого давления использовалась 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 грязь могли испортить продукцию.

Чарльз Б. Ходжес изобрел двигатель двукратного расширения, использующий подогреватель между цилиндрами высокого и низкого давления, чтобы подогреть частично расширенный сжатый воздух. Этот воздух пропускаться 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 чем 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 локо-

мотив 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 1900 (или 1910) г. компания Портер 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 Портер имели баллоны с запасом воздуха давлением 50 – 80 атм, которое редуцировалось до 7 – 10 атм при поступлении в цилиндры. Воздух сжимался в многоступенчатых компрессорах и распределялся по трубам на зарядные станции, расположенные вдоль маршрутов осуществления перевозок.

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

Давление 150 атм – чрезвычайно высокое, учитывая, что у паровозов оно редко превышало 17 атм; 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. Было бы весьма важно проверять внутреннюю часть ёмкости для хранения запаса сжатого воздуха на предмет коррозии, вызываемой капельной влагой. Следует обратить внимание, что все резервуары имеют инспекционный люк на одном конце.

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

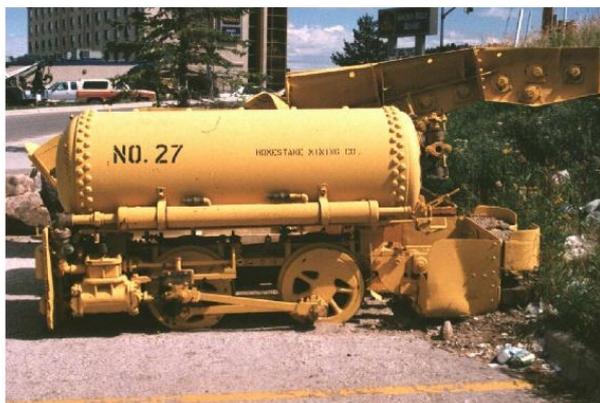
Обращает на себя внимание большое количество очень крупных заклёпок, требуемых для скрепления резервуара с запасом сжатого воздуха, по сравнению с паровозами, которые работали на гораздо более низком давлении. Резервуар с рабочим давлением двигателя выполнен в виде длинного тонкого цилиндра, а не более 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 атм 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 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 атм. 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 предназначался для работы на надземной манхэттенской железной дороге в Нью-Йорке, где отсутствие запаха дыма и грязи являлось бы большим преимуществом. Давление в баллонах составляло 140 атм. 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 рожок подогревателя. Также виден ящик, установленный на верхнем баке, похожий на бункер для песка, с целью улучшения сцепления. Перед будкой машиниста виден второй такой же.



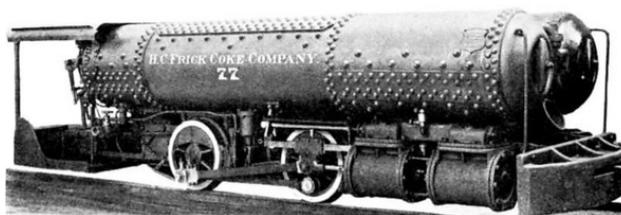
Пневмолокомотив Портера с тремя баллонами. Дата неизвестна. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

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 давление ⁹.

⁹ 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 в случае, если редукционный клапан заест (не закроется), и выпускаемый воздух будет иметь давление 80 атм.



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

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

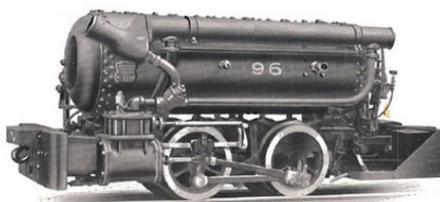
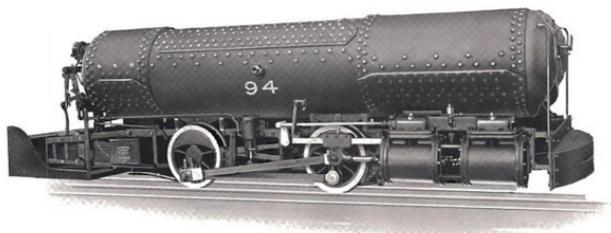


ILLUSTRATION No. 96, CLASS B-P-O
Four sizes, each with code word of the above design are described on the opposite page, and the principal dimensions, weight, power and other details are given in the column assigned to each size. We are prepared to build other sizes, and to construct these locomotives for any practicable gauge of track and size of entry. Brackets and draft truing 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 gold, 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 steadily, pass sharp curves easily and maintain an even track as 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 trifle by the wear of the tires and journal boxes.

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

Этот локомотив компаунд мог быть в четырёх вариантах, названных РЕВЛОУ, РЕВМУХ, РЕВНАЗ и РЕВРЕС, которые являются словами телеграфного кода. Каждая версия могла быть оснащена воздушными баками различной вместимости. Давление зарядки для каждого варианта составляло 50 – 80 атм. Есть также упоминание о вспомогательном резервуаре с давлением 17 атм; он был помещён между редуцированным клапаном и регулятором, чтобы стабилизировать 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.¹⁰

¹⁰ В 1914 г. Н К Porter Company издала 2-й выпуск 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 трехкратное) расширение.



Превмолокомотив 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 атм 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.

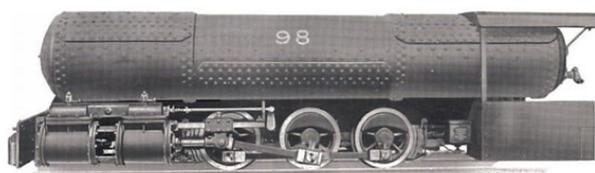


ILLUSTRATION No. 98, CLASS C-PP

Превмолокомотив 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 атм. Во вспомогательном резервуаре давление поддерживалось на уровне 17 атм.



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 рожок 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 атм, во вспомогательном резервуаре – 17 атм.

След. фото: пневмолокомотив Портера класса В-Р-Т. 1914 г.

AIR LOCOMOTIVES WITH TENDERS

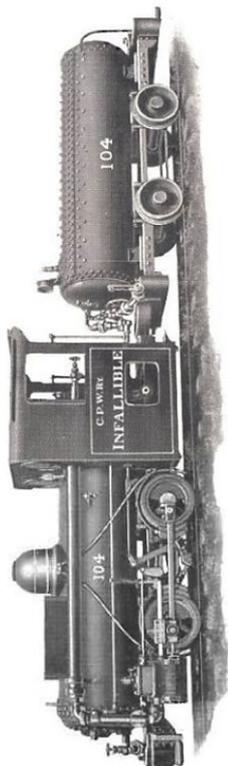


ILLUSTRATION No. 104, CLASS B-P-T
With cab for outside handling at powder works, for extra long haul where conditions require light-weight equipment.

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.

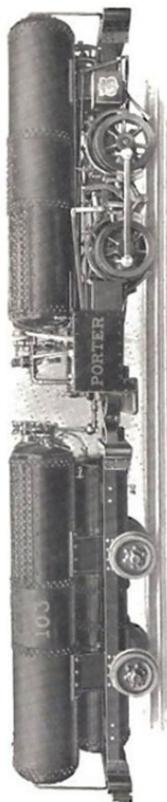


ILLUSTRATION No. 103, CLASS B-PP-T
For mine service with sharp curves and narrow entries requiring locomotive with cylinders inside the frame and with crank axle for main driving wheels.

Пневмолокомотив Портера класса B-PP-T. 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

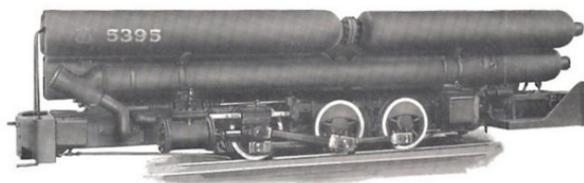
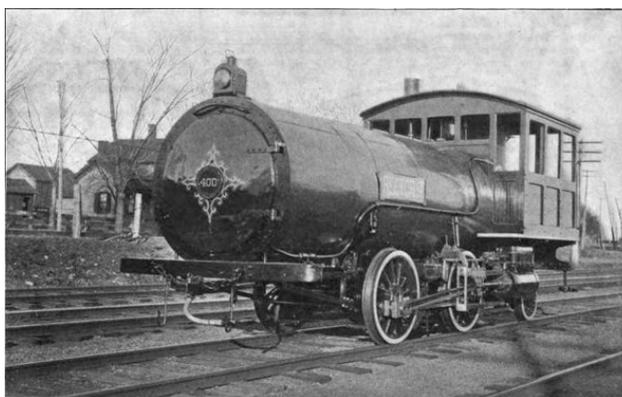


ILLUSTRATION No. 5395, CLASS C-5Ps-O

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 C-5Ps-O. 1914 г.

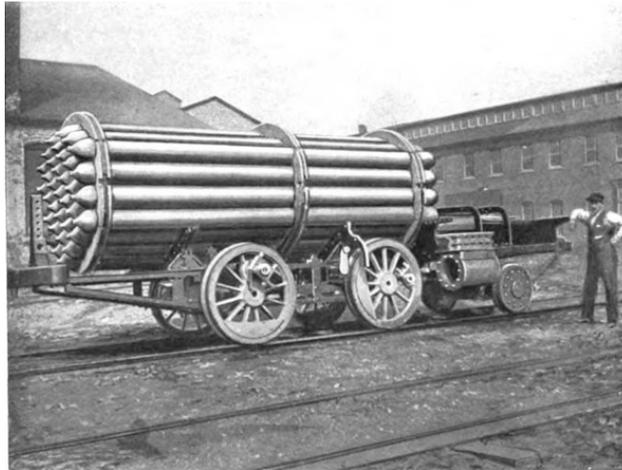
Локомотив имел четыре воздушных резервуара, два наверху и два пониже. Труба подогревателя с рожком эжектора находилась сбоку и связывала основание и два резервуара, которые видны позади неё. Рабочее давление этого локомотива было от 120 до 155 атм. Цилиндры сделаны из твёрдой стали, без заклепок, что 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, симплтонские локомотивы и современные пневмолокомотивы.



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 атм, рабочее давление 10,5 атм. Объем бака 4,8 м³, масса 16 т. Разница между давлением в резервуаре и рабочим давлением указывает на то, что между резервуаром и цилиндрами двигателя стоял редукционный клапан. Давление 42 атм является гораздо более высоким, чем обычно используется в паровых котлах, где оно редко превышает 17 атм. 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 кабины 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 пневмопаровоз типа 0—2—0 для компании Philadelphia & Reading Coal & Iron Company, которая хотела использовать его на 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 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 350° 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 feed 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 feed per minute is sufficient for an air pump.

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

(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 until the chamber is charged again.

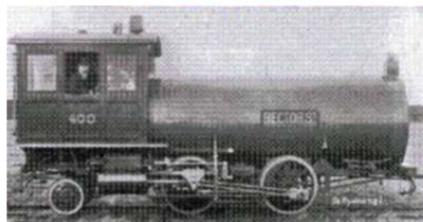
Из статьи о локомотиве Харди, помещённой в журнале «Railway and Locomotive Engineering», т. 10, №5, май 1897, можно узнать, что полный заряд воздуха весил более 1,1 т.

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

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.

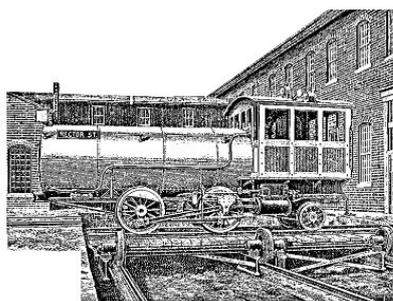
Имеются сведения о некоторых пневмолокомотивах, построенных заводом Baldwin. Один из них – №11. Воздух хранился в резервуарах под давлением 42 атм, а двигатель рассчитан на давление 7 атм. Локомотиву требовался вертикальный зазор 1,5 м и 1,8 м в ширину для прохождения кривых 9-метрового радиуса. Поскольку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



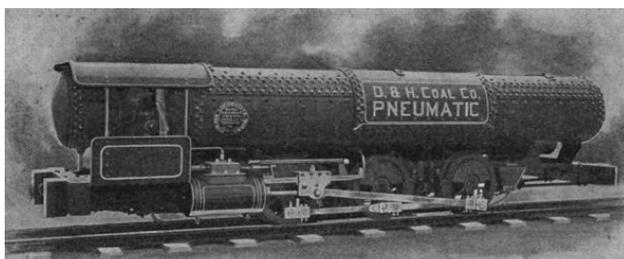
Вид сбоку локомотива Харди. Фото из журнала «Street Railway Journal», май 1897.

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 пеплом. На передней части крыши кабины виден дымоход. На боковой пластине написано «Rector St».

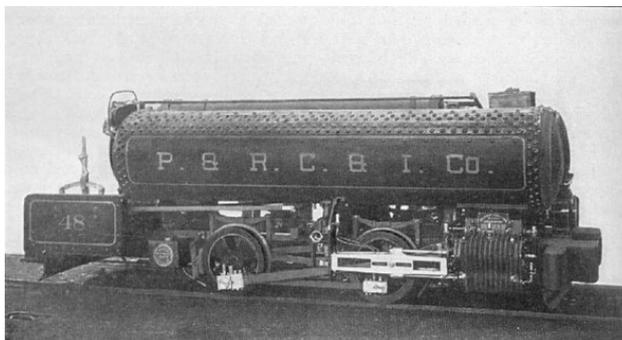
Локомотив №41 – предназначен для работы на метровой колее. Считается, что это локомотив компаунд с цилиндром высокого давления диаметром 95 мм, низкого давления – 152 мм и ходом поршня 254 мм. Диаметр движущих колёс 610 мм. Один резервуар короче другого, чтобы иметь больше места в будке машиниста. Локомотив 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».

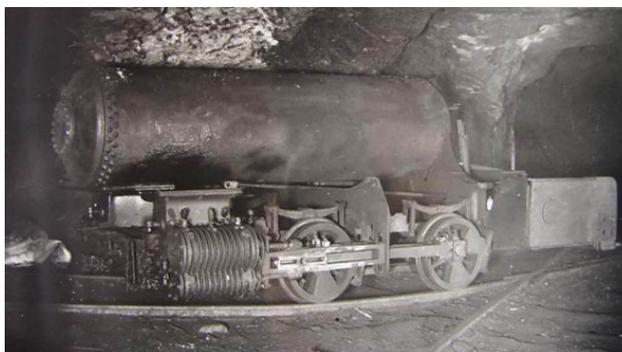


Пневмолокомотив типа 0—3—0. Построен для угольной промышленности локомотивостроительным заводом Диксона в Скрэнтоне, Пенсильвания, Северная Америка. 1899 г. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».



Пневматический локомотив, построенный компанией 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 и чтобы уменьшить охлаждение воздуха при расширении.

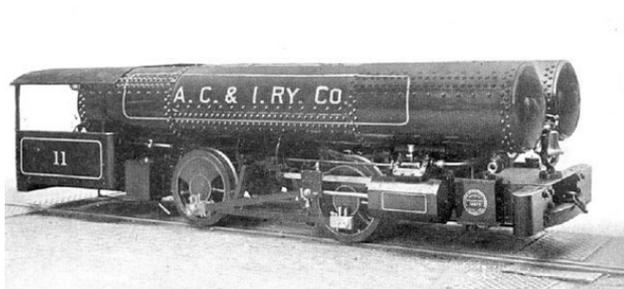


Пневматический локомотив, построенный компанией Baldwin для P&RCI. Дата неизвестна. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

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.

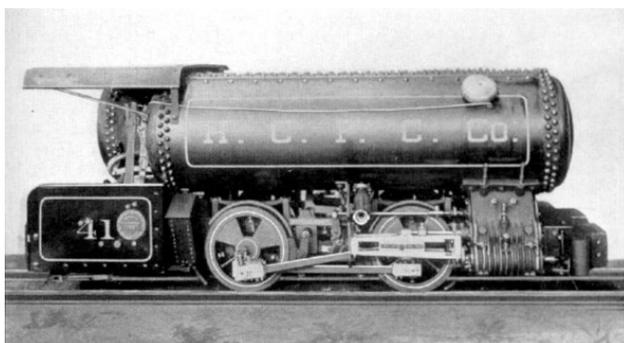
В журнале «American Engineer and Railroad Journal» приводятся сведения о ещё одном локомотиве, построенном на заводе Baldwin. Ниже показан его схематический чертёж. Воздухоподогреватель запатентован Вокленом. Сжатый воздух хранился во множестве цилиндров маленького диаметра, как и на локомотиве Харди, 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.

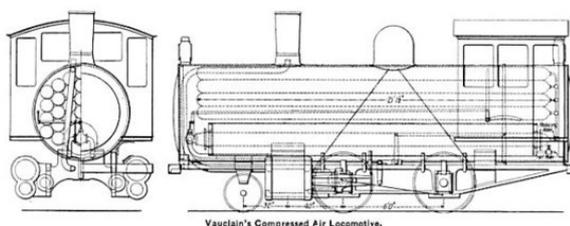


Пневматический локомотив, построенный для компании Ashland Coal & Iron Railway Co. локомотивостроительным заводом Baldwin в Филадельфии. Дата неизвестна. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

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.

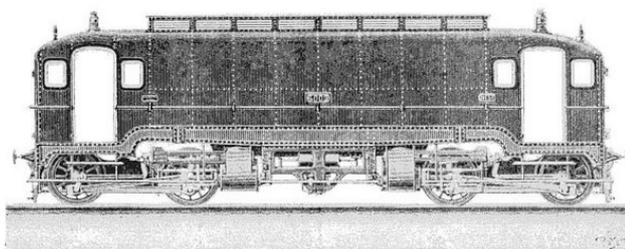


Пневматический локомотив, построенный заводом Baldwin для компании H. C. Frick Coke Co. Дата неизвестна. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».



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

Пневмолокомotive для западной французской сети¹¹. В 1901 г. Общество Saint-Leonard¹² построило четыре пневматических локомотива (№6001 – 6004) для западной французской сети.



Пневмолокомotive для западной французской сети. 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.

Пневмолокомotive 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 атм. Около каждой тележки располагалось два цилиндра: воздух давлением 20 атм поступал в цилиндр высокого давления, расширялся в нём до 10 атм, 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.

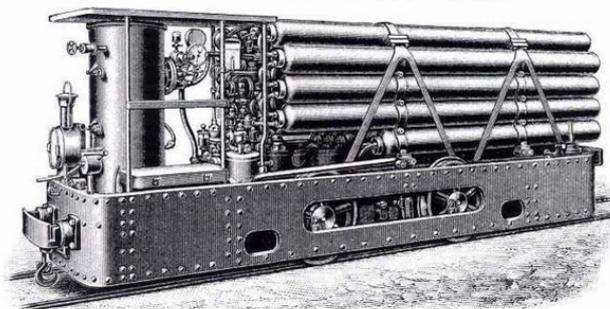
Мощность локомотивов, по-видимому, была недостаточной, поскольку в 1910 г. они были заменены электровозами. Скорее всего, эти электровозы имели питание от аккумуляторных батарей, поскольку иначе они не могли бы использоваться при отключении электроснабжения.

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 атм, поставляемый компанией Compagnie Parisienne, которая распределяла сжатый воздух для энергетических целей через сеть труб под улицами Парижа, и поднимал его давление до 100 атм.

¹¹ Журнал «Nature», 1901, 2-й выпуск.

¹² 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.

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.



Симплтонский пневмолокомотив. Около 1910 г. Рисунок с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

Несколько сложных на вид локомотивов на сжатом воздухе были построены для сооружения Симплтонского тоннеля швейцарским локомотивостроительным заводом в Винтертуре.

Симплтонские тоннельные локомотивы. Симплтонский 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».

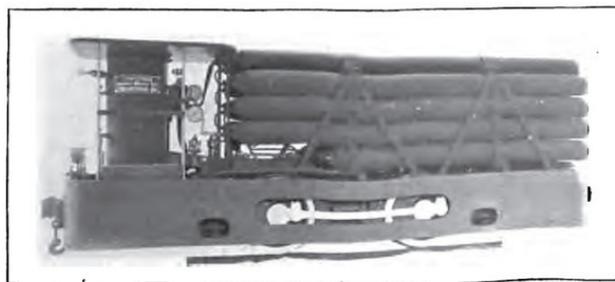
Suspended from the frame is a single cylinder driving engine with a pinion on its shaft. The pinion meshes into a large gear keyed to the rear shaft of the truck. Connecting rods on either side connect the rear and front wheels, thus insuring maximum tractive effort. The engines and gears are encased 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.

О симплтонском локомотиве. Около 1900 г.

Рабочее давление 10 – 15 атм, в баллонах 70 – 80 атм, что приблизительно вдвое меньше, чем у локомотива Харди (140 атм). 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.

Симптонский локомотив. 1902 г.

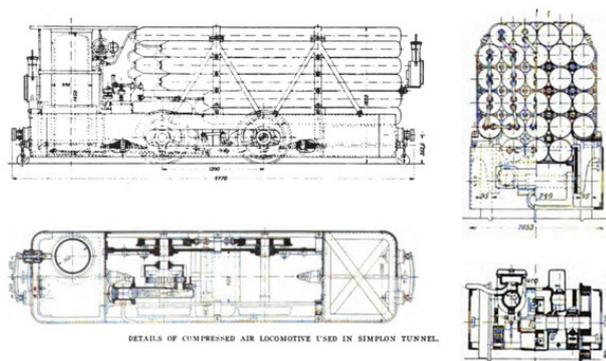
Это – единственная фотография симптонского локомотива, найденная до сих пор. Из журнала «*Compressed Air Magazine*», июль 1902, №5, p1906 Vol 7.

Пневмолокомотивы тоннеля Лёчберг, 1907—1913 г. Тоннель Лёчберг длиной 14,6 км находится на линии Лёчберг, соединяющей Шпиц и Бриг в северном конце Симптонского 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 Симптонском 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 симптонские локомотивы.

Два больших четырёхосных локомотива с семью баллонами 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 атм.

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 атм 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.

Симптонский 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.

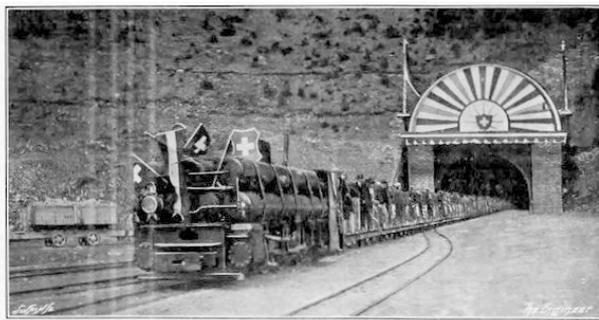
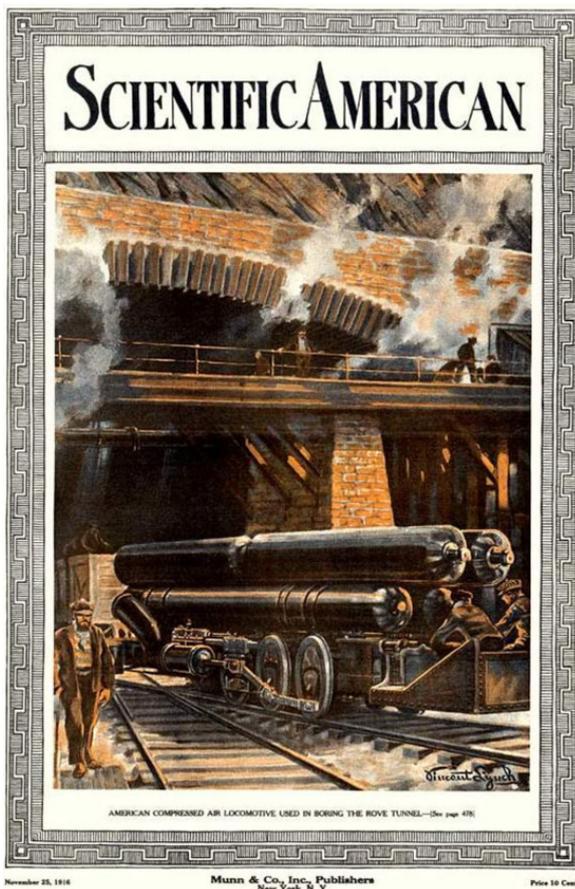


Fig. 5—AIR LOCOMOTIVE AT KANDERSTEG ENTRANCE TO TUNNEL

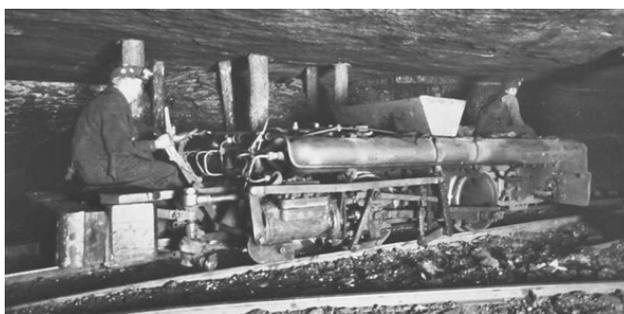


CHARGING A COMPRESSED-AIR ENGINE AT KANDERSTEG.

Лёчбергский пневмолокомотив. Вверху фотография праздничного поезда, сделанная в марте 1911 г., когда тоннель был пройден. Внизу показана перезарядка пневмолокомотива в Кандерстеге. 1907 г. От Фредерика А Тэлбота. «Железнодорожные чудеса мира», т. 1, стр. 109.



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.

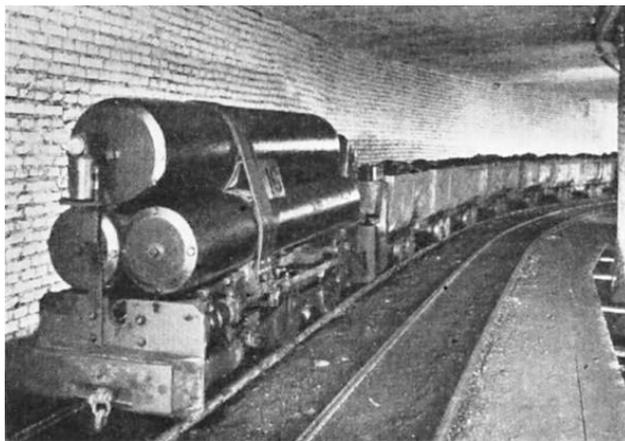
Пневматические локомотивы для тоннеля Роув. На иллюстрации, приведённой в журнале «Scientific American», показан пневмолокомотив с четырьмя резервуарами в одном из порталов тоннеля Роув – семикилометрового канального тоннеля, построенного между 1911 и 1916 гг. во Франции, чтобы канал Марсель – Рона мог достигать гавани Марселя. Это самый длинный канальный тоннель в мире.

Никакой информации о локомotive до сих пор не найдено, но можно предположить, что выхлопной рожок, который виден в передней части локомотива, позволяет отнести его к кон-

струкции Портера. По всей видимости, было четыре резервуара сверху и два снизу. Верхние резервуары кажутся больше нижних.

В 1926 г. тоннель Роув 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.

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 их 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 атм. Радиус действия локомотивов находился в пределах 4 ÷ 9,5 км. Использовалось от одного до девяти баллонов, в которые закачивался сжатый воздух, время заряда составляло 1 ÷ 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 ÷ 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 боль-

шие 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 атм, 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.



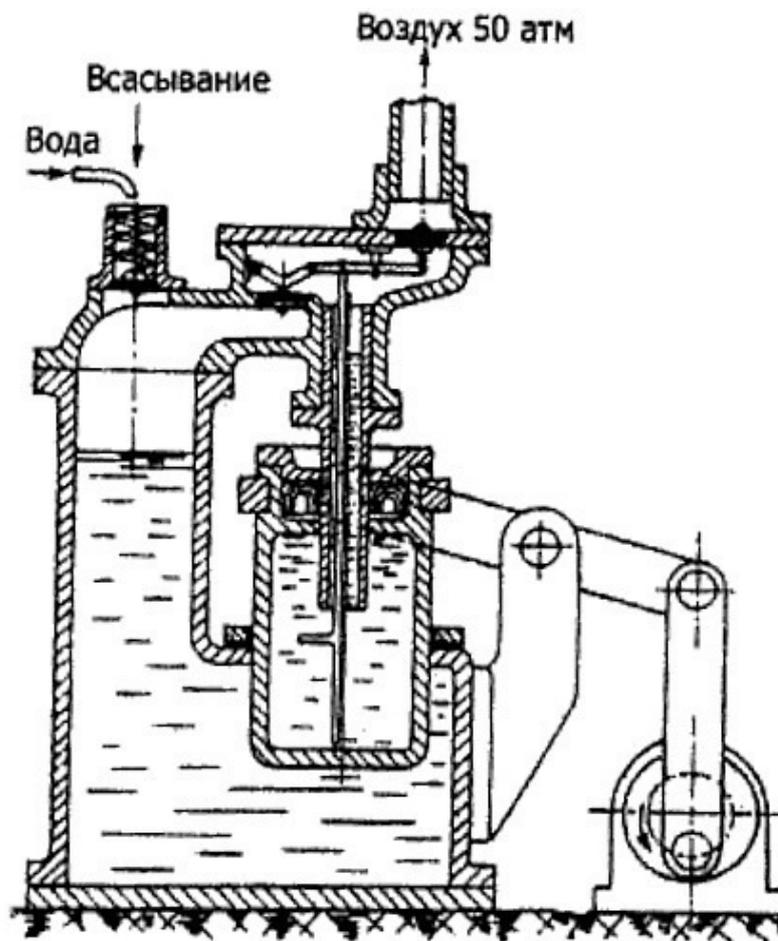
Пневматический локомотив Юнга PZ 20, построенный в 1955 г. Фото с сайта «The Self Site: Unusual Steam Locomotives».

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.

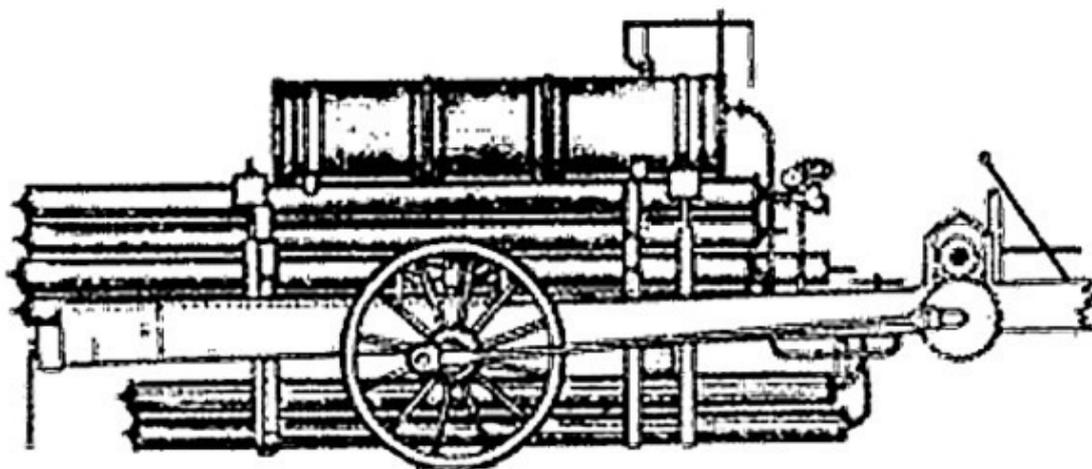
В 1861 г. на Александровском заводе был построен первый в России локомотив, который должен был заменить паровоз. Двигатель локомотива приводился в движение не паром, а сжатым воздухом. Строительством необычного для того времени локомотива руководил его изобретатель С. И. Барановский. Он же дал своему 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 «Петербургский „Духоход“», «Наука и жизнь», 2003, №6.

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»:

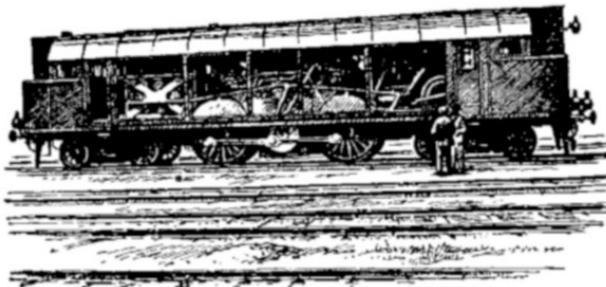
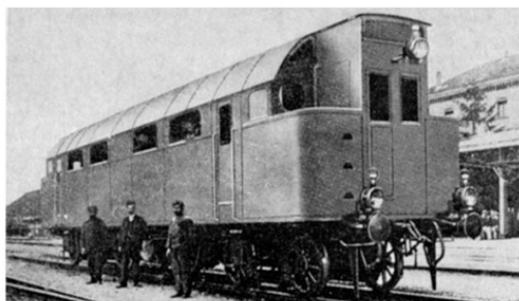
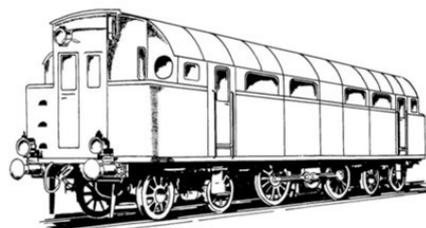
«В газетах прочёл я, что г. Барановский намерен показать публике применение сжатого воздуха к движению по железной дороге. Дав себе обещание непременно побывать на всех трёх опытах, что мне и удалось сделать, я радовался такой новинке, но иногда на меня находили минуты неверия, и я сомневался в выгодном 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 времени, 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 училище¹³, Технологическом, Политехническом и других институтах было введено изучение двигателей этого типа. В Обществе технологов, Русском техническом обществе и других технических 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.

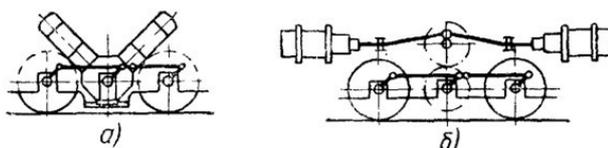
Устройство и первые проекты тепловозов с непосредственным приводом.

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 атм 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.

¹³ С 1917 г. Московское высшее техническое училище (МВТУ), ныне МГТУ им. Баумана.

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

Тепловозы с непосредственным приводом¹⁴ 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 сцепления 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.

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 дышлообразную 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 полувезды, 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

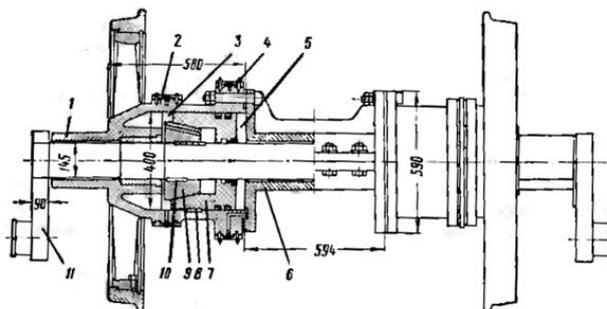
¹⁴ По-другому их называют тепловозами непосредственного действия.

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 другими системами передач.

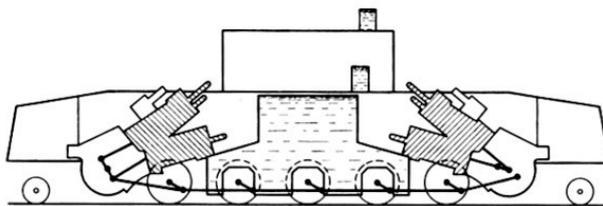
В 1909 г. начальник службы тяги Ташкентской ж. д. Ю.В. Ломоносов начал заниматься разработкой проекта тепловоза с непосредственным приводом вместе с инженером А. И. Липецем и техником Тутышкиным. Довести свои задумки до конкретного воплощения Ломоносов в то время не смог – в 1910 г. его переводят на 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, расположенных по концам тепловоза. Отбойный вал был связан дышлами с ведущими осями тепловоза, которые вращались внутри полый 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 ней 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.

Для охлаждения воды рубашек двигателя были запроектированы градирни, располагавшиеся по концам тепловоза. Градирня в 1910 г. была испытана на одном из паровозов 0—4—0 серии О^В и дала хорошие результаты: температура охлаждаемой воды падала ниже температуры окружающего воздуха примерно на 5°С.

Тепловоз должен был развивать силу тяги 12000 кгс при скорости 10 – 12 км/ч.

В июле 1914 г. были разрешены кредиты на постройку двух опытных тепловозов с непосредственным приводом, равных по мощности паровозу типа 1—4—0 серии Ш по проекту, разработанному в 1913 г., но начавшаяся в 1914 г. первая мировая война не позволила его осуществить.

Для разгона поезда до скорости, обеспечивающей надёжность вспышки топлива в главном (тяговом) двигателе, тепловозы с непосредственным приводом оборудовались дополнительным пусковым устройством. В качестве такого устройства применялись добавочный дизель-компрессор мощностью не менее 10 – 25% от нормальной мощности главного двигателя с большим количеством баллонов со сжатым воздухом или паровой котёл, обогреваемый теплотой отработавших газов главного двигателя, а на стоянках – за счёт сжигания добавочного топлива.

Первый мощный тепловоз с непосредственным приводом, построенный заводами братьев Зульцер и Borsig под руководством Рудольфа Дизеля, появился в 1912 г. Он оказался неудачным, и этот факт заставил конструкторов, в том числе и в России, искать новые пути создания тепловозов с непосредственным приводом.

Эффективность силовой установки принципиально зависела от диапазона устойчивой работы в дизельном режиме, поэтому одним из первых направлений работ инженеров и учёных стали смелые попытки создать двигатель внутреннего сгорания, который был бы таким же приёмистым, как и паровая машина.

Одновременно с Рудольфом Дизелем, в России над конструкцией специального тягового двигателя на тяжёлом топливе размышлял талантливый русский учёный, известный инженер, основоположник московской школы теплотехников и современной теории теплового расчёта двигателей внутреннего сгорания, профессор Императорского Московского технического училища Василий Игнатьевич Гриневецкий. Профессор Гриневецкий, являясь наиболее крупным и талантливым учёным в области двигателестроения, разработал теорию двигателей внутреннего сгорания и во многом способствовал развитию отечественного дизелестроения. Будучи основоположником теории двигателей внутреннего сгорания и большим знатоком русского транспорта, он первый предопределил крупное значение тепловозов в будущем развитии железнодорожного транспорта России. Он дал глубокое технико-экономическое исследование

дование вопросов создания тепловоза и значение его для нашей страны. Не ограничиваясь вопросами теории рабочего процесса в двигателях внутреннего сгорания, В. И. Гриневецкий трудился и как инженер-конструктор. Ему принадлежит смелая идея теплового двигателя, обладающего всеми достоинствами дизеля, но освобождённого от его недостатков при тяговой работе. В. И. Гриневецкий работал над проблемой тепловоза с исчерпывающей полнотой и с тонким пониманием новых задач, выдвигаемых действительностью.

Первоначально В. И. Гриневецкий рассматривал возможность создания тепловозов непосредственного действия с существующими типами двигателей. К ним относится тепловоз с дизелями двойного действия, расположенными по типу паровозной машины, с диаметром движущих колёс 1750 мм. Четыре цилиндра диаметром 400 мм с ходом поршня 650 мм обеспечивают силу тяги 6450 кгс и касательную мощность 990 л.с. при 40 км/ч. При 100 км/ч (303 об/мин ведущих осей) сила тяги равна 4950 кгс, а касательная мощность 1830 л.с. Коэффициент полезного действия от 20 до 22%.

При принятом расположении цилиндров размеры машины совершенно не стеснены и выгадывается специальная машинная рама, заменяемая общей рамой локомотива. Оборудование внутри кузова располагается достаточно свободно, длина локомотива между буферами получается 18 м, масса должна быть в пределах 120 – 130 т, что требует расположения осей по типу 3—3—3 или 3—3—2 с двумя тележками. Тепловоз по расположению управления и главных рабочих частей может быть выполнен симметрично относительно обоих концов, что позволит ему двигаться одинаково в обе стороны и устранить необходимость пользования поворотными кругами. Максимальное поршневое усилие около 45 тс. Продувочные насосы помещаются внутри рамы и приводятся в движение от коленчатой оси.

При положительных сторонах этот тепловоз имеет и очень серьёзные недостатки. Двухтактный дизель двойного действия кроме четырёх тяжёлых поршней и четырёх сальников высокого давления должен иметь в восьми рабочих полостях восемь или десять форсунок, восемь пусковых клапанов, восемь нефтяных насосов и, может быть, шестнадцать продувочных клапанов. Управление форсунками, пусковыми и продувочными клапанами должно обладать реверсивностью. Это сильно усложняет распределительный механизм и уход за ним. Двигатель по всем свойствам распределительного механизма получается совершенно чуждым паровозной машине. Расположение цилиндров снаружи рамы вне кузова серьёзно осложняет уход за распределением, за рабочими органами и за водяными рубашками. Серьёзные трудности надо предвидеть в отношении пуска в ход и разгона сжатым воздухом вследствие необходимости обеспечения трогания с места при любом положении кривошипов, возможности боксования и потому необходимости дросселирования воздуха. Надо вспомнить ещё о малой экономичности воздушного процесса и о необходимости больших запасов воздуха, которые могут быть несколько уменьшены быстрым переходом на комбинированный разгон: пара цилиндров воздухом, а другая – нефтью. Наконец, высокий вес двигателей при сложной их конструкции должен сделать этот тепловоз одним из весьма дорогих.

Тяговая характеристика этого тепловоза должна быть достаточно благоприятной и обеспечивающей силу тяги при всех условиях эксплуатации, причём громадный избыток мощности при больших скоростях позволит поддерживать максимальную скорость на большинстве подъёмов меньших предельного и приведёт к ускорению движения поездов на участках с более трудными профилями.

Другой тепловоз, с двигателем Юнкерса, имеет два двигателя, каждый с двумя цилиндрами и четырьмя поршнями. При одинаковых условиях с предыдущим тепловозом при ходе поршня 820 мм получается диаметр цилиндров около 400 мм. При скорости 100 км/ч потребная касательная мощность 1100 л.с. составит около 90% от нормальной, равной 1220 л.с. Машина будет работать в выгодных условиях с коэффициентом полезного действия 24 – 26%.

Чрезвычайно благоприятно сравнительно с предыдущим вариантом сокращение частот распределительного механизма: четыре форсунки, четыре пусковых клапана, продувочных нет, сальников нет и т. д. Однако присутствие дизель-компрессора ослабляет эти плюсы.

В указанной комбинации два двигателя сдвоены под углом 90° . Пуск в ход с любого положения кривошипов вообще возможен, но требует отсечки около 60%, неупотребительной и несколько рискованной для таких высоких давлений пускового воздуха, опасной в отношении боксования. Для развития предельной силы тяги 8780 кгс нужно среднее индикаторное давление воздуха более 18 атм, что значительно ограничивает возможность срабатывания давления воздуха в резервуарах и даёт весьма неэкономичную работу разгона, которая должна составить самое слабое место этого тепловоза. При предлагаемом расположении механизма отпадает наиболее слабая конструктивная часть двигателя Юнкера – трёхколенчатый вал, который как по условиям прочности, так и по технологическим соображениям представляет очень неприятную конструкцию.

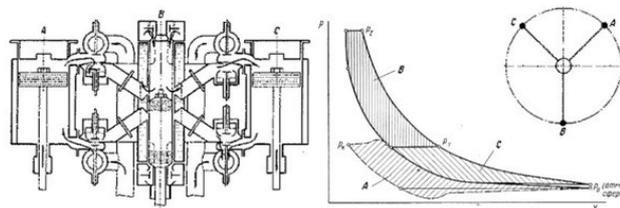
Рассматриваемый тепловоз имеет достаточную эластичность силы тяги и отсутствие избыточной мощности. От него можно ожидать весьма высокой экономичности и простоты органов главного двигателя. Кроме того достигается хорошее уравнивание движущихся частей. Исключительно тяжёлый передаточный механизм и весьма затруднительный и в то же время неэкономичный пуск в ход составляют минусы, могущие серьёзно затруднить эксплуатацию тепловоза. Перед предыдущим вариантом с дизелем двойного действия рассматриваемый вариант имеет крупное преимущество значительного упрощения главного двигателя, значительно лучшее обеспечение надёжности действия и простоты ухода, а также повышение экономичности.



Василий Игнатьевич Гриневецкий.

Проекты тепловозов с двигателем Гриневецкого. При разработке двигателя собственной конструкции В. И. Гриневецкий взял машину двойного расширения, ибо, при заданных требованиями экономичности общей степени сжатия, достаточная компактность машины и малая величина поршневых усилий достижимы лишь при двойном сжатии и таком же расширении. Такой двигатель позволяет легко осуществлять реверс и изменение крутящего момента.

Желая по возможности уменьшить поршневые усилия и придать своему двигателю наибольшую компактность, В. И. Гриневецкий обратился к первоначальной идее Р. Дизеля, осуществив его цикл не в одном, а в трёх цилиндрах. Вначале двигатель предназначался для судов речного флота, но позже был переработан для тепловозов.



Двухтактный двигатель Гриневецкого, трёхцилиндровый, двойного действия, двойного расширения и реверсивный.

A – воздушный цилиндр; *B* – цилиндр сгорания; *C* – расширительный цилиндр.

В основе идеи В. И. Гриневецкого лежала мысль о перенесении области высокой температуры и высокого давления рабочего газа в цилиндр двигателя с воспламенением от сжатия, имеющего большой к. п. д. Нижняя часть индикаторной диаграммы такого двигателя менее выгодна для использования, и поэтому целесообразно, чтобы предварительное сжатие рабочего тела происходило в компрессоре, а полное его расширение – в газовой турбине или поршневой машине. Таким образом, получается комбинированная теплосиловая установка, в которой компрессор поглощает мощность двигателя, в результате чего обеспечивается его высокий наддув, а выпускные газы двигателя в смеси с продувочным воздухом являются рабочим газом, используемым в расширительной машине.

13 октября 1906 г. В. И. Гриневецкий получает охранное свидетельство №30181 на свой двигатель. В начале 1908 г. Путиловским заводом были разработаны рабочие чертежи, по которым в 1909 г. завод построил опытный двигатель Гриневецкого. Он представлял собой двухтактную машину двойного действия, в воздушном цилиндре которой происходило предварительное сжатие рабочего воздуха до $4 \div 7$ атм, в цилиндре сгорания, куда вводилось топливо, – продувка, последующее сжатие, горение и частичное расширение газов, продолжающееся одновременно с совершением полезной работы до атмосферного давления в расширительном цилиндре, откуда продукты горения выталкивались наружу. Таким образом, воздушный цилиндр играл роль компрессора, цилиндр сгорания – собственно двигателя, а расширительный цилиндр являлся расширительной машиной.

Коренной особенностью являлся способ ведения сгорания и его регулирования, специально приспособленный по скорости и по мощности к переменным нагрузкам при работе тепловоза. Особенность способа состояла в следующем: почти весь сжатый в цилиндре сгорания воздух после сжатия выталкивался в особый вспомогательный цилиндр со свободным поршнем – регулятор сгорания. Обратная сторона поршня нагружена давлением воздуха из особого воздушного резервуара – регулятора давления. Давление воздуха в регуляторе поддерживалось постоянным, в пределах $50 \div 60$ атм, причём утечка через поршень покрывалась работой небольшого компрессора. Свободный поршень кинематически связан с поршнем нефтяного насоса, дозирующего и подающего через особую форсунку топливо в цилиндр, причём относительный избыток воздуха, благодаря кинематической связи воздушного и нефтяного поршней мог быть установлен определённым, проще всего постоянным.

Количество рабочего воздуха в цилиндре сгорания регулировалось в известных пределах автоматически следующим образом. Давление в начале сжатия в цилиндре сгорания обуславливается давлением в конце впуска в расширительном цилиндре; последнее при постоянстве наполнения, очевидно, тем выше, чем больше нагрузка, расход нефти и объём сгоревших

газов. Поэтому при малых нагрузках давление в начале сжатия в цилиндре сгорания опускалось до 4 атм, а при больших – поднималось до 7 атм, соответственно чему увеличивалось на 75% и количество рабочего воздуха сжимаемого в цилиндре сгорания. Это увеличение количества рабочего воздуха не влияло, как в двигателе Юнкерса, на конечное давление сжатия в цилиндре сгорания, которое благодаря регулятору сгорания оставалось неизменным и зависящим лишь от регулятора давления. Менялся здесь лишь ход свободного поршня регулятора сгорания, увеличиваясь при больших нагрузках и уменьшаясь при малых, соответственно чему изменялась и порция нефти, подаваемая с каждым ходом. Такое регулирование количества рабочего воздуха возможно при условии, что воздушный цилиндр подаёт достаточно воздуха для продувки и заполнения цилиндра сгорания при максимальной нагрузке. При уменьшении количества рабочего воздуха в цилиндре сгорания избыток его из воздушного цилиндра протекал через цилиндр сгорания в расширительный цилиндр, понижая температуру газов в последнем.

Охлаждаемый поршень цилиндра сгорания служил одновременно выпускным золотником для расширительного цилиндра, чем совершенно устранялся выпускной клапан цилиндра высокого давления и впускной клапан расширительного цилиндра низкого давления, представляющие одно из главных затруднений в применении к двигателям внутреннего сгорания последовательного расширения. Оба больших цилиндра служили благодаря двойному действию и расположению кривошипов почти под прямым углом очень удобными пусковыми цилиндрами для работы сжатым воздухом среднего давления, от 6 до 8 атм, совершенно так же как в двояной паровой машине. Это создавало условия пуска, разгона и даже торможения сжатым воздухом (по принципу контрпара) одинаковыми с паровозами.

Перемена хода достигалась почти без перестановки распределительных органов переключением трубопроводов и обращением воздушного цилиндра в расширительный, а расширительного цилиндра в воздушный, что обеспечивало крайнюю простоту реверсирования. При езде под уклон или по горизонтали, когда нагрузка двигателя меньше максимальной, предусматривалась постановка дроссельного клапана между воздушным цилиндром и цилиндром сгорания. Благодаря этому можно было в воздушном цилиндре поднимать давление и пополнять запас сжатого воздуха в воздушном пусковом резервуаре. Для тепловозной машины это свойство самопополнения пускового воздуха весьма ценно. Этим несколько выравнивалась нагрузка главного двигателя, повышалась его экономичность и уменьшался потребный размер добавочного двигателя. Таким образом, весьма своеобразно и отлично от всех других двигателей была разрешена задача приспособления главного двигателя к условиям эксплуатации. Перегрузка двигателя на 75% путём увеличения среднего индикаторного давления почти не меняла пропорцию рабочего воздуха относительно топлива и мало отзывалась на экономичности.

В. И. Гриневецкий предполагал, что разработанный им двигатель будет отвечать требованиям эксплуатации тепловозов значительно полнее и лучше, чем существующие типы дизелей и, приближаясь в остальном к паровозной машине, сохранит преимущество развития очень высокой мощности и полной силы тяги при больших скоростях хода.

В 1909 – 1912 гг. был произведён ряд испытаний двигателя, которые затянулись вследствие отдельных недостатков машины. Работа с опытным двигателем была прервана сначала случайными обстоятельствами, а затем первой мировой войной.

Индикаторные диаграммы, снятые в опытах, несмотря на недостаточную налаженность работы двигателя, имели вид, сходный с проектными диаграммами, показав отчётливость сгорания и его неприхотливость к давлению и частоте вращения. Пусковые диаграммы при холостом пуске получались с очень малым противодавлением, не превышающим 0,5 атм, что свидетельствовало о незначительности механических сопротивлений двигателя. Пуск в ход и реверсирование опытного двигателя производились чрезвычайно легко и безотказно.

Опыты показали, что процесс горения в цилиндрах протекает нормально, начиная со 120 об/мин. При этой, достаточно низкой, частоте вращения двигатель показал устойчивую работу. При меньших скоростях, если это потребовалось бы в случае использования двигателя для тепловоза, он должен работать сжатым воздухом из баллона.

Судя по теоретическим соображениям В. И. Гриневецкого и, частично, на основании снятых в 1910 г. диаграмм с опытного двигателя, последний был способен устойчиво работать при переменной частоте вращения и при изменении среднего индикаторного давления в широких пределах, имея при этом достаточно низкий расход топлива. Экономичность комбинированного двигателя Гриневецкого характеризует удельный индикаторный расход топлива, равный 160 г/л.с.ч; она не уступала экономичности дизелей того времени.

Как показали испытания, при принятом способе регулирования мощность изменялась в широких пределах при хорошем процессе сгорания в диапазоне 300 ÷ 150 об/мин и изменении давления воздуха на свободный поршень от 60 до 30 атм; сгорание топлива происходило бездымно при избытке воздуха около 20%. Увеличение мощности на 75% достигалось за счёт увеличения давления наддува с 5 до 7 атм.

При этом, благодаря системе свободного поршня, давления конца сжатия и сгорания оставались неизменными, изменялся лишь ход свободного поршня, увеличиваясь при росте нагрузки и большей подаче топлива на цикл.

Оригинальность идей В. И. Гриневецкого, заложенных в его двигателе, заключалась в том, что, обладая высокой экономичностью, свойственной дизелям, двигатель сохранял все ценные качества паровой поршневой машины. Это – способность к изменению нагрузки в широком диапазоне, включая перегрузку до 75% при неизменном давлении вспышки, большой крутящий момент при трогании с места при низком давлении сжатого воздуха, лёгкий и безотказный реверс.

Благодаря этим качествам двигатель Гриневецкого был способен приводить во вращение ведущие оси локомотива непосредственно, вследствие чего отпадала необходимость в сложном механизме передачи.

Хорошие тяговые качества комбинированной силовой установки были получены за счёт принципиально новых решений. Вся энергия сжигаемого топлива в цилиндре сгорания расходовалась на сжатие воздуха в воздушном цилиндре и выработку рабочего тела (газа). Такое сочетание двухтактного двигателя с компрессором составляло, по существу, кривошипный генератор газа, призванный заменить паровой котёл паровоза. Разница заключалась в том, что генератор выдавал вместо пара сжатый газ более низкого давления.

В. И. Гриневецкий в своём классическом образце двухтактного генератора газа правильно подобрал диапазон рабочих давлений наддува в пределах 4 ÷ 7 атм и соотношения диаметров компрессора и дизеля 600:280, что и обеспечивало необходимый баланс энергии между двигателем и компрессором.

Тепло газа трансформировалось в механическую энергию вращения в специальном расширительном цилиндре, который по характеру работы вполне идентичен цилиндру паровой поршневой машины паровоза.

Таким образом, В. И. Гриневецким был обоснован и осуществлён локомотивный двигатель с совершенным термодинамическим циклом двигателя внутреннего сгорания, разделённым на следующие две самостоятельные части. В первой части происходит сгорание жидкого топлива в зоне высоких давлений и температур, чем обеспечивается высокий термический к. п. д. Далее превращение тепла в механическую энергию осуществляется при вторичном расширении в зоне низких давлений и температур, что обеспечивает минимальные потери с рабочим телом (отработавшим газом).

В период 1914 – 1916 гг. на основе работ над двигателем своей системы, предназначенным для работы на тяжёлом топливе, профессор В. И. Гриневецкий руководил разработкой проектов пассажирского и товарного тепловоза, выполненной инженером Б. М. Ошурковым.

Главным валом двигателей служат оси колёсных пар. Воздушный и расширительный цилиндры низкого давления каждого двигателя горизонтально расположены снаружи рамы так, что с каждой стороны находится один воздушный и один расширительный цилиндр, чем достигается полная симметрия в распределении работы. Целиком внутри кузова тепловоза расположены наклонно цилиндры сгорания и весь газораспределительный механизм, что весьма облегчает уход и контроль над процессом сгорания, ибо снаружи и вне кузова окажутся лишь движущие механизмы четырёх цилиндров низкого давления и сами цилиндры без водяной рубашки, т. е. лишь части, обычные для паровозов. Оба двигателя, сдвоенные между собой под углом 90° , работают на крайние ведущие оси. Цилиндры сгорания действуют на средние колена, а воздушные и расширительные – на пальцы кривошипов диаметром 350 мм, расположенных также под углом 90° .

Для пускового воздуха наверху тепловоза расположен воздушный резервуар ёмкостью около $60 \div 65 \text{ м}^3$ с давлением до 13 атм, причём перед поступлением в цилиндры воздух нагревается за счёт тепла выхлопных газов до $250 \div 350^\circ\text{C}$ в змеевиковых калориферах, расположенных по концам, а при растопке – специальной форсункой. Пополнение пускового воздуха идёт за счёт дроссельного регулирования выпуска из воздушных цилиндров при меньших нагрузках тепловоза, а также за счёт вспомогательного двухцилиндрового дизель-компрессора эффективной мощностью 250 л.с. По бокам воздушного резервуара расположены холодильники. Внутри кузова расположены баки для воды, топлива и масла, а по концам его – кабины управления. Тепловоз симметричен для движения в оба направления и может работать без поворотных кругов.

Рабочая масса пассажирского тепловоза, эквивалентного по мощности паровозу серии К^у типа 2—3—0, с запасами воды и топлива составляет 110 т, что приводит к типу 2—3—2 при сцепной массе около 48 т. Диаметр ведущих колёс 1980 мм. Диаметр цилиндра сгорания 280 мм, воздушного и расширительного – по 600 мм, общий ход поршня 700 мм. Запас воздуха в воздушном резервуаре составляет около 890 кг.

СХЕМА ТЕПЛОВОЗА 3-3-3 С ДВУХТАКТНЫМ ДИЗЕЛЕМ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ
 №1830 з.лс при V=100 км/ч; F=4950 кг; Q=120-130 тн

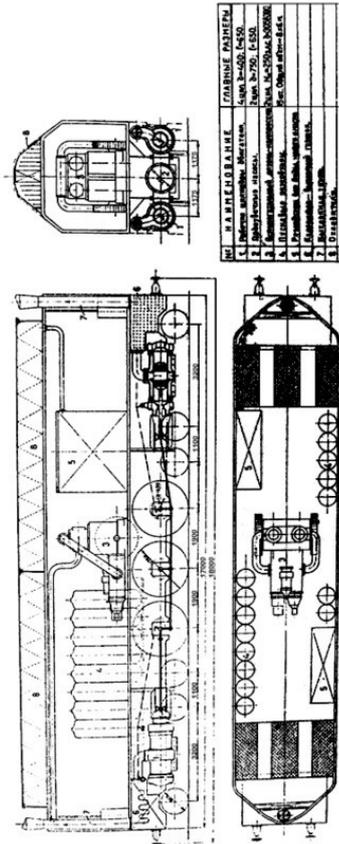
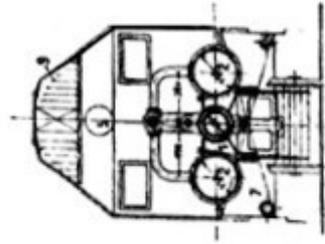
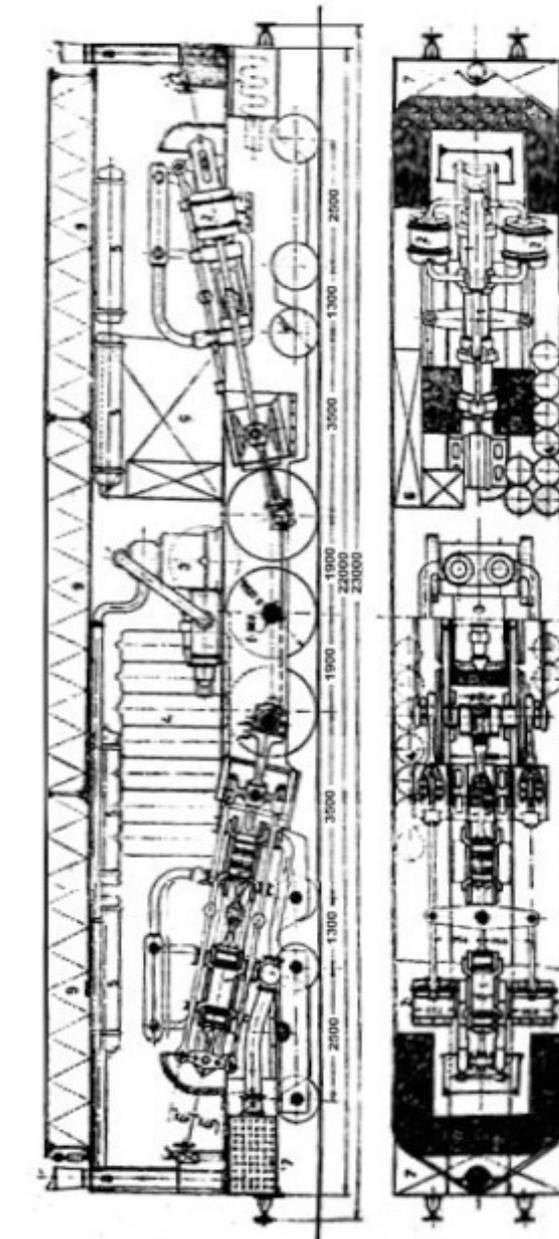


Схема тепловоза с дизелями двойного действия. Из книги В. И. Гриневецкого.

1 – рабочие цилиндры двигателя; 2 – продувочные насосы; 3 – вспомогательный дизель-компрессор; 4 – пусковые резервуары; 5 – резервуары для воды, масла и нефти; 6 – калорифер – выхлопной горшок; 7 – выхлопная труба; 8 – охладители.

СХЕМА ТЕПОВОЗА 3-3-3 С ДВИГАТЕЛЕМ ЮНКЕРСА
 $N_p=1125$ з/лс при $V=100$ км/ч; $F=3040$ кг, $Q=130-135$ тн.



№	НАИМЕНОВАНИЕ	ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЫ
1	Рабочие цилиндры - малые цилиндры	Диам. 3-400, 5-2-320
2	Продувочные насосы	Диам. 3-450, 5-320
3	Вспомогательный дизель-компрессор	Диам. 3-300, 5-180
4	Пусковые резервуары	Диам. 3-300, 5-180
5	Запасные пусковые резервуары	Диам. 3-300, 5-180
6	Резервуары для воды, масла, нефти	Диам. 3-300, 5-180
7	Калорифер - выхлопной горшок	Диам. 3-300, 5-180
8	Выхлопная труба	Диам. 3-300, 5-180
9	Охлаждители	Диам. 3-300, 5-180

Схема тепловоза с двигателями Юнкера. Из книги В. И. Гриневецкого. 1 – рабочие цилиндры двигателя; 2 – продувочные насосы; 3 – вспомогательный дизель-компрессор; 4 – пусковые резервуары; 5 – запасные пусковые резервуары; 6 – резервуары для воды, масла и нефти; 7 – калорифер – выхлопной горшок; 8 – выхлопная труба; 9 – охладители.

СХЕМА ТЕПЛОВОЗА 2-3-2 ПРОФ. В. И. ГРИНЕВЕЦКОГО.

№1500 э.л.с при V=100 км/ч; F=4050 кг; Q=110 тн.

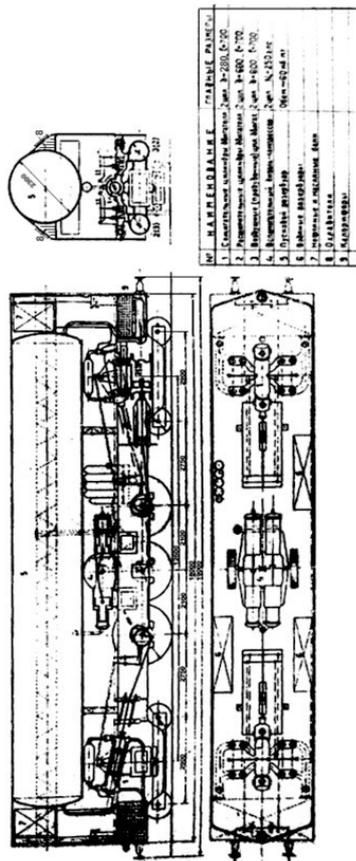


Схема тепловоза с двигателями Гриневецкого. Из книги В. И. Гриневецкого.

1 – цилиндры сгорания; 2 – расширительные цилиндры; 3 – воздушные (продувочные) цилиндры; 4 – вспомогательный дизель-компрессор; 5 – пусковой резервуар; 6 – водяные резервуары; 7 – нефтяные и масляные баки; 8 – охладители; 9 – калориферы.

Товарный тепловоз типа 1—5—1 с теми же размерами цилиндров и с ведущими колёсами диаметром 1220 мм эквивалентен паровозу серии Э типа 0—5—0. Применение цилиндров на 10% больше по диаметру и переход к типу 1—6—1 или 1—3+3—1 позволяет повысить силу тяги ещё на 20%. Наконец, сведение двойных машин с переходом к типу 1—4+4—1 даёт возможность удвоить силу тяги. При этом получается тепловоз типа Маллета, гораздо более лёгкий и дешёвый, чем паровоз с тендером соответствующего типа и мощности.

При малых скоростях тепловозы не уступают эквивалентным паровозам, а при больших – значительно их превосходят, обеспечивая повышенные скорости на подъёмах 4–6‰, которые в условиях паровой тяги преодолеваются со значительным падением скорости. Это свойство тепловозов особенно ценно для обслуживания ими ускоренных товарных поездов и вообще для тяги на дорогах с трудными или не очень благоприятными профилями.

В. И. Гриневецкий считал тепловозы своей системы с изобретённым им же двигателем наиболее компактными, мощными и эластичными тепловозами с непосредственным соединением, значительно превосходящие все предыдущие по мощности и силе тяги, при гораздо большей способности маневрирования и разгона, при значительном упрощении двигателя и уменьшении динамических и конструктивных трудностей. Для тяги скорых и пассажирских поездов тепловоз мог дать преимущества в поддержании максимальной скорости движения на всех подъёмах, кроме предельных, благодаря громадному запасу мощности при высоких скоростях. Осуществление тепловоза этой системы после окончания опытной проверки двигателя встре-

тило бы наименьшее количество конструктивных затруднений и открыло бы широкие перспективы введению тепловозов, особенно взамен пассажирских паровозов.

Внезапная смерть профессора Гриневецкого в 1919 г. не позволила завершить работу по созданию этих тепловозов.

Двигатель Гриневецкого до наших дней не сохранился, так же как и большинство его рабочих чертежей.

Дальнейшее развитие конструкций тепловозов с непосредственным приводом.

К двадцатым годам прошлого столетия постепенно сформировалось представление о том, какими способами можно обойти главный недостаток тепловоза с непосредственным приводом, вытекающий из свойства двигателей внутреннего сгорания устойчиво работать при частоте вращения, превышающий некоторый порог. Появилось множество проектов, по-разному решающих проблему тепловоза с непосредственным приводом. Все они в основном сводились к использованию 1) двух рабочих тел в одном и том же или в разных цилиндрах, 2) нижнего или верхнего наддува, 3) частичного или полного внешнего питания и 4) изменяемой камеры сжатия. При создании двигателя, осуществляющего какой-либо из этих принципов, предполагалось в широких пределах и плавно изменять частоту вращения. Такой двигатель мог воспламенять и хорошо сжигать топливо в большом диапазоне частот вращения, изменять в широких пределах среднее индикаторное давление и быть конструктивно простым, дешёвым в постройке и надёжным в эксплуатации.

Транспортный двигатель внутреннего сгорания для получения необходимой силы тяги должен на малых скоростях давать среднее индикаторное давление, в 1,5 – 2 раза превышающее давление при нормальном режиме и изменяющееся при этом в широком диапазоне частоты вращения. Вместе с тем необходимо, чтобы столь значительное повышение давления не сопровождалось чрезмерным ростом теплового напряжения цилиндров двигателя.

Например, для ведения поезда массой 1200 т, который был способен везти тепловоз с электропередачей Э^{3/5} со скоростью 13 км/час на подъёме 9,5‰, тепловоз с непосредственным приводом должен развивать среднее индикаторное давление 12,7 атм. Максимальное значение среднего индикаторного давления составит 14,6 атм при скорости 10 км/ч, ниже которой наступает ограничение по сцеплению.

Одной из возможностей получения такого высокого среднего индикаторного давления является применение полного внешнего питания. Способ работы двигателя по принципу внешнего питания известен с 1872 г. (двигатели Брайтона, Брюнлера и др.) и заключается в том, что весь рабочий воздух сжимается особым компрессором и подаётся в рабочий цилиндр одновременно с топливом. Процесс горения идёт по линии постоянного давления, а наполнение может изменяться, так же как в паровой машине, в зависимости от нагрузки. Такой способ работы двигателя, впервые предложенный для тепловоза непосредственного действия инженером М. В. Максимовым, кажется заманчивым, но в этом случае нужна дополнительная дизель-компрессорная установка размеров, обеспечивающих сжатие всего рабочего воздуха до высокого давления, которая на больших скоростях не будет использована. В несколько видоизменённом виде этот принцип использовал в своём проекте М. И. Пригоровский. Отличия состояли в том, что в своём двигателе он решил осуществить принцип смешанного питания двигателя с применением верхнего наддува.

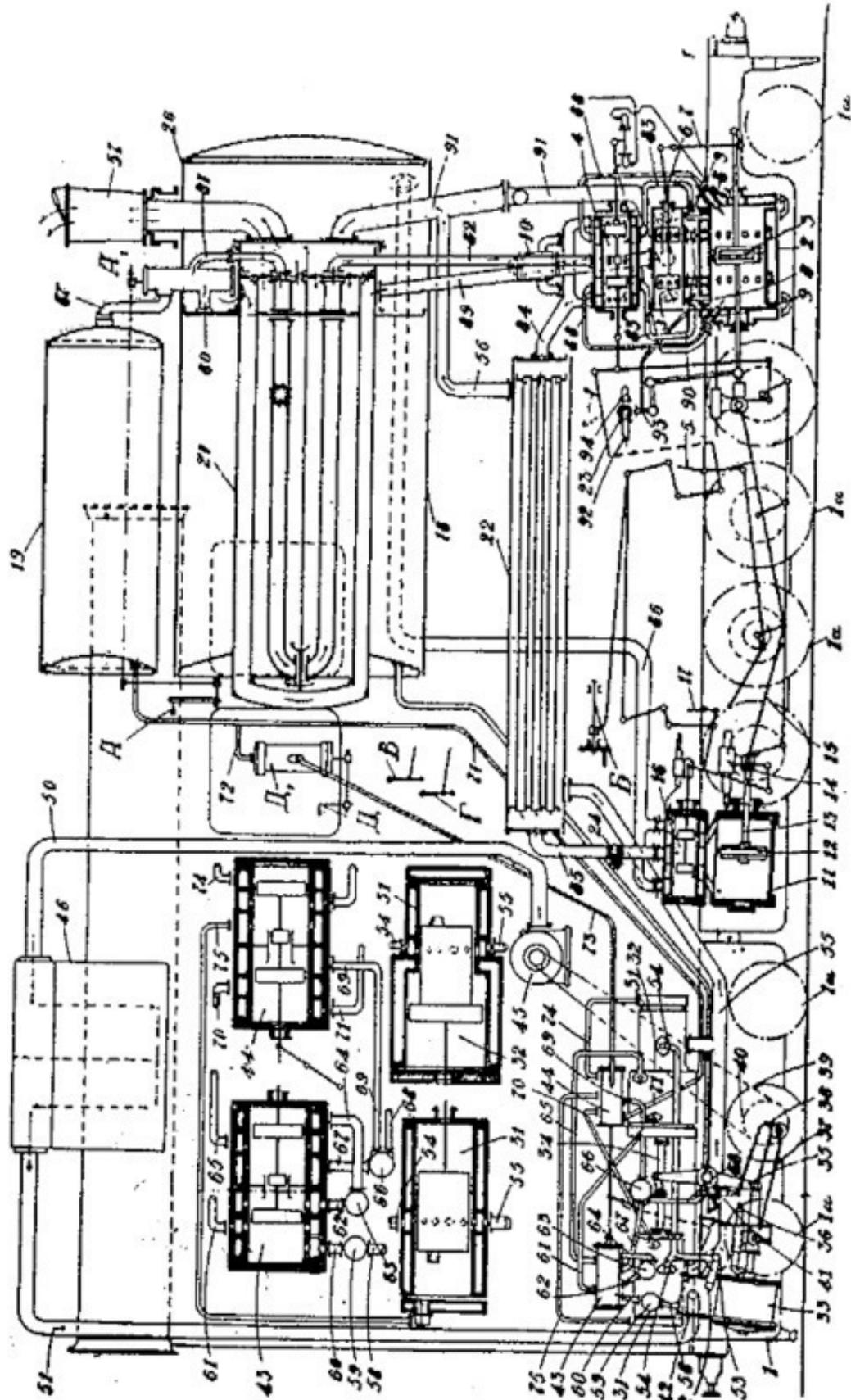
Проект тепловоза Пригоровского. Для того чтобы дизель сверх своих собственных качеств обладал ещё и превосходными свойствами паровой машины, ему не хватает при уменьшении мощности приспособления, воспламеняющего горючее, а при увеличении её – воздуха, нужного для сгорания топлива. При смешанном питании двигателя в цилиндры машины помимо нормально подаваемого продувочным насосом воздуха подаётся ещё и дополнительный сжатый воздух, а также и топливо во время сгорания, а для изменения среднего индикаторного давления подача этой смеси в цилиндры регулируется как количественно, так

и качественно. Дополнительный воздух должен быть более высокого давления, чем давление в цилиндре, причём весовое соотношение между количеством нормально поданного воздуха и дополнительным количеством воздуха должно изменяться в зависимости от режима работы двигателя.

Разгон локомотива осуществляется питанием его машин сжатым воздухом со сжиганием в нём топлива, а скорость движения изменяется регулированием давления в цилиндрах в конце сжатия посредством выпуска воздуха в процессе сжатия (декомпрессии), а также регулированием продолжительности сгорания топлива в цилиндрах. При этом воздух, поступающий в цилиндр в период всасывания, обратно выталкивается из него не полностью.

Ввиду того, что воздух, подаваемый дополнительной установкой, в ресивере и при переходе из него в цилиндр будет охлаждаться, возникает необходимость либо в подогреве рабочего воздуха, либо в постановке запальных устройств в цилиндре.

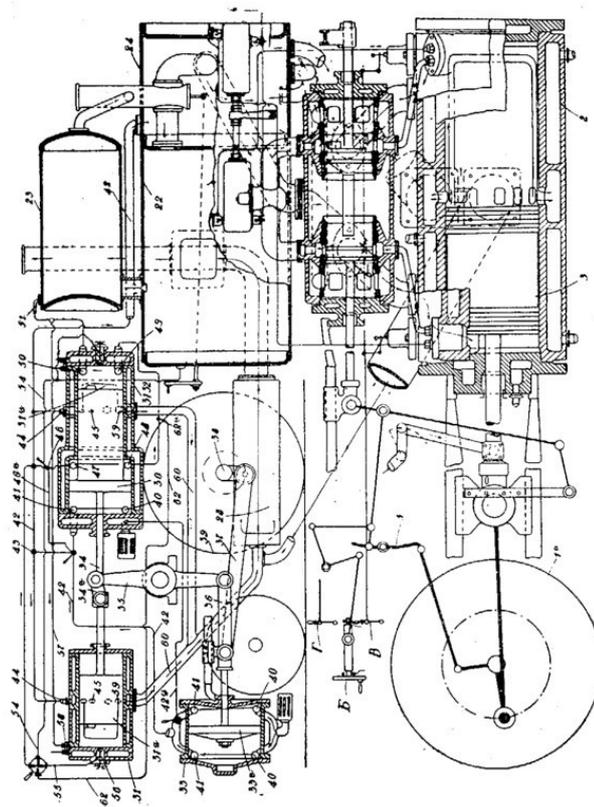
В 1922 г. М. И. Пригоровский взял патент на изобретённую им систему тягового двигателя внутреннего сгорания для тепловоза. В новом двигателе, в отличие от обычных дизелей, процессы наполнения, расширения, выпуска и сжатия протекают подобно тому, как они осуществляются в паровой машине паровоза. Сжатие и наполнение регулируется кулисно-золотниковым или кулачково-клапанным распределительным механизмом.



Тепловоз Пригородского. Чертёж к патенту №5353, заявленному 19 сентября 1925 г. с присоединением заявки от 2 марта 1926 г.

На одном конце рамы 1 (со скатами 1а) установлен главный двигатель 2 внутреннего сгорания, цилиндры которого устанавливаются на места паровозных цилиндров; поршень 3 охлаждается через сквозной шток, который соединяется с крейцкопфом и передаёт усилия шатунно-кривошипному механизму двигателя тепловоза и его скатам. Золотниковая коробка 3 распределителя пускового распыскивающего воздуха установлена над цилиндром. Золотник выполняет две функции: при трогании и разгоне в качестве распределителя сжатого пускового воздуха и распределителя воздуха при работе на нефти (шток этого золотника приводит в движение нефтенасосы). Кулиса 5 даёт реверс тепловозу и управляет распределительным золотником. Балансир 7 приводит в движение продувочно-выхлопной золотник 6, установленный позади пускового золотника 4 (на нём установлен байпас 10). По концам цилиндра имеются пусковые клапаны 8 и форсунки 9. На другом конце тепловозной рамы размещены: цилиндры продувочно-зарядного насоса 11, которые являются вместе с тем большим цилиндром машины последовательного расширения (компаунд); поршни 12, связанные посредством штока 13, крейцкопфа 14, шатуна 15, со скатами 1а; распределительный золотник 16 установлен над цилиндром 11; кулиса 17 со своим механизмом управляет золотником 16; 18 – резервуар пускового воздуха; 19 – резервуар распыскивающего воздуха; 20 – резервуар продувочно-зарядного воздуха; 21 – двойной подогреватель (первая ступень подогрева пускового, распыскивающего воздуха, вторая ступень подогрева продувочно-зарядного воздуха); 22 – одиночный подогреватель (вторая ступень подогрева пускового воздуха); кран 23 соединяет водяные пространства крышек цилиндров и поршней, в случае необходимости (для обогрева), с трубопроводом горячей воды и обратно (для охлаждения) с трубопроводом холодной воды; кран 24 соединяет пусковой золотник 4 с подводным патрубком золотника 16 продувочного насоса 11 (во втором положении кран служит для соединения продувочного насоса с атмосферой). Органы управления главного двигателя: А – регулятор; А₁ – регуляторная головка; В – переводной винт реверса; В – рычаг к пусковому клапану и форсунке (к всасывающим клапанам её), Г – рычаг к кранам 23 для обогрева цилиндров 24 (для работы то последовательным расширением, то как насосом). Добавочный двигатель состоит из: комбинации цилиндра двигателя и компрессора 31 – 32 с тронковыми поршнями; цилиндра 33 продувочного насоса; штанг 34 поршней цилиндра 31 двигателя и тронковых поршней; балансира 35, качающегося в подшипниках и связывающего двигатель с продувочным насосом посредством серьги 36 с крейцкопфом продувочного насоса 33; ведущего шатуна 37 от продувочного насоса на кривошип фрикционного бегунка; оси 38 бегунка; контркривошипа 40 фрикционного бегунка 39, который тягой приводит в движение кулису 41; последняя приводит в движение качающиеся рычаги трёх золотников, которые заменяют комплекты клапанов трёх ступеней компрессора; золотника 42 продувочного насоса 33; золотника 43 двигателя; золотника 44 двигателя-компрессора 31 – 32; вентилятора 45, приводимого через передачу от шкива фрикционного бегунка; холодильника 46. Органы управления вспомогательной машины: Д – регулятор; Д₁ – регуляторная головка. Трубопроводы вспомогательной машины: 50 — 52, 54 — 56, 57 (трубопровод для выпуска отработанных газов в атмосферу), 58, 60, 61, 62 (нагнетательный), 64, 65, 67 — 75. Ресиверы: 53 (продувочный), 59, 63, 66. Трубопроводы главной машины: 80 — 94.

След.: Тепловоз Пригородского. Чертёж видоизменённого варианта к патенту №5353.



Во вспомогательном двигателе и компрессоре 31 – 32 движущиеся части соединены посредством скалки 34 и серёг 34а с балансиром 35, который, в свою очередь, другим концом соединяется посредством тяги 36 с крейцкопфом продувочного насоса 33. Крейцкопф насоса соединяется посредством шатуна 37 с кривошипом оси 38 фрикционного бегунка 39. Продувочный насос, выделенный в отдельный цилиндр 33, работает в лучших условиях и с более совершенной подачей воздуха. Соединение газовых и воздушных поршней 30 – 31а (31а – полость высшего давления) на одних и тех же скалках 34 даёт увеличение коэффициента полезного действия. Питание распыливающим воздухом двух форсунок 58 полостей цилиндров 31 производится из резервуара 22. Питание

продувочным воздухом двух цилиндров через окна 45 осуществляется от главной магистрали 42, через узел 43 из резервуара 24. Отработанные газы из двух цилиндров через окна 59 отводятся в глушитель 28. Подача сжатого пускового воздуха производится продувочным насосом 33; посредством поршня 33а воздух засасывается из атмосферы через всасывающие клапаны 40; передняя полость цилиндра 33 нагнетает воздух через клапан 41 в продувочный резервуар 24. Другая сторона поршня 33а задней полости цилиндра 33 нагнетает воздух по ответвлению 42а к всасывающему клапану 40 полости цилиндра 32 с тронковым поршнем 30 (это – вторая ступень сжатия пускового воздуха). Нагнетание сжимаемого воздуха во второй ступени производится через клапан 41 к всасывающему клапану 47 третьей ступени компрессора. Из третьей ступени нагнетание производится кольцевым пространством поршня 30 и нагнетается одноступенчатым компрессором через клапан 48 и кран 62а в магистраль 62, питающую пусковой резервуар 22. Воздух сжимается до нормы распыливающего воздуха и нагнетается в резервуар 23 для распыливания. Воздух, нагнетаемый из кольцевой полости через клапан 48, подводится к всасывающему клапану 49 комбинированной полости цилиндра 31. Далее воздух в данной полости сжимается (четвёртая ступень сжатия) и через

клапан 50 нагнетается в резервуар 23. Таким образом получается четырёхкратное сжатие воздуха. 42, 44, 46, 46а, 50, 51, 54, 57, 60 – трубопроводы.

Наполнение производится сжатым воздухом, причём сжигание топлива начинается с первого же хода поршня. Величина наполнения имеет максимальное значение при трогании, поэтому процесс наполнения отличается тем, что температура в цилиндре, благодаря непрерывной подаче наряду с топливом сжатого воздуха, не превышает определённого предела, зависящего от установленного коэффициента избытка воздуха. Сжатый воздух поступает от небольшого компрессора. Зажигание топлива с первых же оборотов тягового двигателя внутреннего сгорания обеспечивается расположенным в головке двигателя специальным запальником, нагреваемым электрическим током.

Позднее М. И. Пригоровский получил патент на тепловоз. В тепловозе Пригоровского устанавливается компрессорный агрегат, выполняющий функции воздухогенератора, который приготавливает для главного двигателя внутреннего сгорания сжатый воздух. Эта установка имеет свой вспомогательный дизель, она же снабжает энергией и запальное приспособление главного двигателя.

Главный двигатель вращает движущие колёса. Он оборудован автоматическим устройством, распределяющим топливо и воздух. Помимо нормального всасывания воздуха, в цилиндр главного двигателя подаётся ещё дополнительный заряд сжатого воздуха вместе с топливом, когда требуется большая мощность машины. Впуск топлива и воздуха подобен отсечке пара в паровой машине и ведёт к таким же результатам. Кулисный механизм для распределения сжатого воздуха и подачи топлива делает управление тепловозом не более трудным и сложным, чем паровозом.

Верхний наддув должен использоваться только при трогании с места и при езде на малых скоростях. Остальное время двигатель должен работать по циклу Дизеля или близкому к нему без использования внешнего питания. Таким образом, имелось в виду осуществить тяговую характеристику тепловоза с непосредственным приводом в пределах скоростей от нуля до некоторой средней скорости движения аналогично тяговой характеристике паровоза.

С точки зрения экономии сжатого воздуха, а следовательно, и уменьшения вспомогательной мощности было бы выгоднее совершенно не выбрасывать продувочный воздух, но для облегчения трогания поезда с места необходимо уменьшить работу сжатия в цилиндрах главного двигателя внутреннего сгорания. Это достигается выпуском из цилиндров двигателя части воздуха, который потом приходится пополнять воздухом, приготавливаемым компрессором. Аналогично можно поступать и при езде на больших подъёмах. Чтобы уменьшить мощность вспомогательной установки тепловоза с двигателем смешанного питания, необходимо идти на увеличение степени сжатия и уменьшение коэффициента избытка воздуха. Также экономичность локомотива сильно возрастет, если среднее индикаторное давление с увеличением скорости выше той, при котором прекращается верхний наддув, будет оставаться постоянным. Кроме того, крайне желательно, чтобы верхний наддув заканчивался при более низких скоростях.

При средних скоростях можно в очень широких пределах регулировать наполнение и связанное с ним среднее индикаторное давление путём изменения продолжительности впуска в цилиндры сжатого воздуха и топлива. На больших скоростях при возможном прекращении подачи в цилиндры внешнего сжатого воздуха главный двигатель внутреннего сгорания переходит на работу по нормальному циклу Дизеля.

Процесс зарядки цилиндра воздухом осуществляется при всех режимах, так же как и у нормальных дизелей, т. е. при двухтактном исполнении через продувочные окна, а при четырёхтактном – через впускные клапаны.

В Одесском индустриальном институте по инициативе и при непосредственном участии М. И. Пригоровского в 1932 – 1934 гг. приступили к изготовлению деталей и исследованию процесса работы двигателя по принципу смешанного питания при трогании и разгоне состава.

В 1934 – 1935 гг. институтом был выполнен эскизный проект тепловоза системы Пригоровского, эквивалентный по мощности паровозу серии Э^У. В этой работе принимал участие инженер Д. П. Кон, который произвёл расчёт рабочего процесса двигателя с верхним наддувом, что делалось впервые вообще.

Исходя из основных данных паровоза Э^У, был произведён расчёт эквивалентного тепловоза системы Пригоровского, который показал, что при скорости 15 км/ч сила тяги и мощность соответствуют паровозу серии Э^У. При увеличении скорости мощность тепловоза значительно возрастает. Поэтому при рабочих максимальных скоростях сила тяги тепловоза Пригоровского значительно превышает силу тяги паровоза серии Э^У и тепловоза серии Э^{3/5}, у которых мощность остаётся почти постоянной. Размеры машин выбраны с таким расчётом, чтобы при непосредственном действии шатунов на колёса можно было применить типовые колёсные пары и чтобы обеспечивалась надлежащая продувка цилиндров. Размеры цилиндров обеспечивали эквивалентность тепловоза Пригоровского по мощности тепловозу Э^{3/5}. Сила тяги тепловоза Пригоровского при скоростях ниже 25 км/ч имеет несколько меньшие значения, чем у тепловоза Э^{3/5}, во избежание сильного возрастания мощности вспомогательной дизель-компрессорной установки в этой зоне скоростей.

Тепловоз имеет плавно изменяющуюся характеристику и обладает в среднем таким же коэффициентом полезного действия¹⁵, как и тепловоз с электрической передачей. Мощность вспомогательной установки при хорошем подборе размеров машины и выборе степени наполнения может быть уменьшена до 20 – 30% максимальной мощности тепловоза, получаемой на руководящем подъёме.

Среднее индикаторное давление двигателя Пригоровского, кроме изменения наполнения, может регулироваться также дросселированием наддувочного воздуха. Этим одновременно изменяется температура в цилиндре главного двигателя.

В 1949 г. после значительного перерыва в работах, вызванного войной, М. И. Пригоровский вновь выступил с проектом тепловоза¹⁶ непосредственного действия, учтя при этом ряд соображений, вытекавших из его предыдущих многочисленных исследований и проведённых после войны опытов в одесской лаборатории.

По этому проекту в движущих цилиндрах локомотива работает газ, поступающий из камер сгорания под давлением 6 – 7 атм. Воздух, необходимый для горения, подаётся в камеру сгорания из баллонов, которые заряжаются двумя сдвоенными дизель-компрессорами, установленными на раме тепловоза. Разгон тепловоза производится воздухом из тех же баллонов.

Камера сгорания, представлявшая в этой схеме Пригоровского наибольший интерес, была спроектирована из специальной стали – с жароустойчивой футеровкой. Верхние части запальников располагались в цилиндре дизель-компрессора и нагревались теплом от сгорания топлива в цилиндрах дизеля, а нижние части – в камере сгорания.

¹⁵ Коэффициент полезного действия тепловоза М. И. Пригоровского достаточно велик – от 19,7% при скорости 15 км/ч до 27% при 50 км/ч.

¹⁶ В книге Льва Гумилевского «Тепловозы» имеются сведения, что тепловоз спроектирован на скорость движения 150 км/ч и на мощность 4200 л. с. Без тендера тепловоз мог совершить безостановочный пробег в 1000 км, а с тендером, увеличивающим запас топлива, – 10 тыс. км.

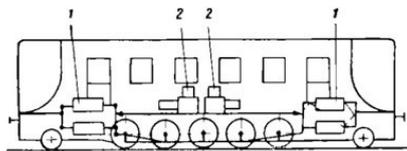


Схема тепловоза Пригоровского.

1 – главный двигатель внутреннего сгорания; 2 – дизель-компрессорная установка мощностью 600 л.с.

Для того чтобы избежать сооружения специальных громоздких стендов, было решено в качестве стенда взять раму паровоза серии Н и на ней проверить ответственные узлы тепловоза непосредственного действия системы Пригоровского. Стенд был изготовлен, но внезапная смерть М. И. Пригоровского в июле 1951 г. не позволила завершить замысел по доведению узлов тепловоза до работоспособного состояния. Работы в дальнейшем велись ближайшими сотрудниками М. И. Пригоровского – Г. А. Рожковым и В. А. Рожковым.

В апреле 1952 г. после первых пусков установки и съёмки индикаторных диаграмм сломался поперечный вал дизель-компрессора, и ввиду больших затруднений по изготовлению его, а также вследствие прекращения отпуска средств работы были прерваны.

Талантливый советский конструктор, Михаил Иванович Пригоровский, по сути дела, создал специальный транспортный двигатель, уже ничего не имеющий общего с дизелем, поскольку в нём нарушен цикл Дизеля и введён совершенно оригинальный рабочий процесс.

Проект тепловоза Ядова. По-другому подошёл к решению тепловозной проблемы профессор И. Ф. Ядов. Он поставил себе задачу разработать тепловоз с непосредственным приводом осей и в то же время использовать компрессор, необходимый при трогании с места, также и для нормальной работы тепловоза.

Исходя из этих соображений, он пришёл к необходимости установить на раме обычного паровозного типа приводимый в движение двигателем внутреннего сгорания компрессор, который играет роль котла на паровозе, но подаёт в машину не пар, а приготавливаемый им сжатый воздух давлением $6 \div 12$ атм, поступающий при трогании поезда с места в цилиндры обычной поршневой расширительной машины паровозного типа с золотниковым распределением. Теплота охлаждения стенок двигателей внутреннего сгорания в этом тепловозе используется для получения пара, который, примешиваясь к воздуху, поступает в вакуум-компрессорные машины. При максимальной силе тяги часть скрытой теплоты этого пара превращается в работу.

В своём проекте, представленном в 1924 г., И. Ф. Ядов предусматривал разгон локомотива смесью пара и сжатого воздуха, а дальнейшую работу намечал производить при помощи паровоздушной смеси и продуктов сгорания топлива, причём вода, охлаждающая стенки двигателя, должна была поступать в котёл; паровые цилиндры намечено было расположить горизонтально снаружи боковин главной рамы, как и в обычных паровозах, а цилиндры дизеля установить наклонно, расположив их внутри рамы, как у паровоза Л^П типа 2—3—1, и связав их поршни шатунами с коленом средней части оси ведущей колёсной пары.

Для этого на раме тепловоза предполагалось установить вакуумный дизель-компрессор эффективной мощностью 800 – 1000 л.с. и два цилиндра паровозного типа с золотниками и кулисным механизмом, управляемым из будки машиниста обычным способом.

Изобретением своего тепловоза Ядов преследовал, главным образом, сбережение топлива и воды при передвижении им всех видов поездов. Вторая цель, не менее важная, заключалась в возможности перемещать тепловозами грузовые поезда одинакового с паровозами веса при равном сцепном весе тепловоза и паровоза приблизительно в два раза быстрее.

Тепловоз состоит из трёх основных групп. Группу I образует шестицилиндровая паровоздушная компрессорная установка. Она приводится в действие двигателями внутреннего сгорания с двухступенчатыми поршнями и не связана кинематически с осями тепловоза. Воздух, сжатый в компрессорах до 1,6 атм, через нагнетательные клапаны и продувочные отверстия поступает в цилиндр двигателя в конце хода поршня вниз. Продукты горения из цилиндра уходят в выпускную трубу и через паровой котёл в атмосферу, отдав часть своей теплоты воде. В цилиндре пар смешивается с воздухом. Смесь сжимается до 8 атм и подаётся в ресивер.

Группу II составляют двухцилиндровый двухтактный двигатель внутреннего сгорания высокого давления и двигатель низкого давления паровозного типа. Продувочный воздух в смеси с паром из цилиндра двигателя первой группы поступает в цилиндры двигателя высокого давления, который через штоки, ползуны и шатуны приводит в движение коленчатую ось. Два цилиндра двигателей низкого давления, в которые поступают отработавшие газы в смеси с избытком продувочного воздуха и пара после их работы в двигателе высокого давления, расположены снаружи рамы и также приводят в движение коленчатую ось. Двигатель высокого давления может быть как двухстороннего, так и одностороннего действия. Преимуществом конструкции одностороннего действия перед конструкцией двухстороннего действия является лёгкость ухода за сальниками и охлаждение поршней и стенок цилиндров паром. Недостатком же является стоимость и большой вес, а также менее спокойный ход тепловоза. Двустороннее действие двигателя внутреннего сгорания высокого давления делает лишним впуск водяного пара в этот двигатель при помощи распределительных органов, так как впуск этого пара при помощи простых редукционных клапанов можно производить из котла в выхлопные пространства цилиндров высокого давления автоматически, охлаждая непосредственно паром простенки этих цилиндров. Дальше часть этого пара через ресивер, охлаждая продукты горения и перегреваясь при этом, вместе с нагретым избытком продувочного воздуха поступает в цилиндры низкого давления.

Группа III состоит из парового котла, используемого для охлаждения отработавших продуктов горения двигателей высокого давления, котла, воспринимающего тепло отработавших газов двигателя (I группы), и ресивера.

Тепловоз Ядова работает следующим образом. Прежде всего, воздухом из запасного резервуара или паром от котла запускается вхолостую двигатель I группы. Затем тепловоз приводится в движение, благодаря работе смеси сжатого воздуха и пара, совершаемой в цилиндрах двигателя низкого давления. Как только скорость достигнет 10 – 15 км/ч, соответствующие клапаны перекрываются и смесь сжатого воздуха и пара под давлением 5 ÷ 8 атм поступает в цилиндры двигателя высокого давления. Здесь смесь сжимается до 40 атм, после чего топливными насосами подаётся топливо под давлением 80 ÷ 200 атм. Отработавшие газы поступают в котёл и, проходя по дымогарным трубам, отдают тепло воде. Паром этого котла можно в любое время привести в движение двигателя I группы, его добавляют к сжатому воздуху при работе тепловоза на манёврах и при трогании с места, чтобы температура воздуха в конце расширения не была ниже нуля. При компрессорном торможении, аналогичном применению контрпара на паровозах, кулисный механизм переставляется на обратный ход при действии крана Лешателье, установленного на котле, и при открытом регуляторе.

Совершенно самостоятельным является распределительный механизм двигателей высокого давления для прямого и обратного хода. Он состоит из двух валиков с насаженными на них шайбами для впуска в соответствующие моменты времени продувочного воздуха, топлива и пара. На одном валике шайбы насажены для работы тепловоза передним ходом, а на другом – для работы задним ходом. На валики насажены кривошипные пальцы, соединённые между собой спарниками. Промежуточный валик имеет кривошипные пальцы, которые соединены эксцентриковыми спарниками с кривошипными пальцами передней спаренной оси тепловоза. Таким образом, в зависимости от направления движения тепловоза, валики могут вращаться

то по часовой, то против часовой стрелки. При помощи двойного переводного винта его гайка устанавливается в двух крайних и одном среднем положении. Когда рычаг будет поставлен в среднее положение, то ролик воздушного клапана подойдет под нижнюю часть кулисы и при помощи тяги откроет клапан для впуска воздуха. Клапаны для впуска топлива и пара будут закрыты. Такое положение будет соответствовать езде под уклон, работе при манёврах и трогании с места, когда двигатели высокого давления совершенно исключаются из работы.

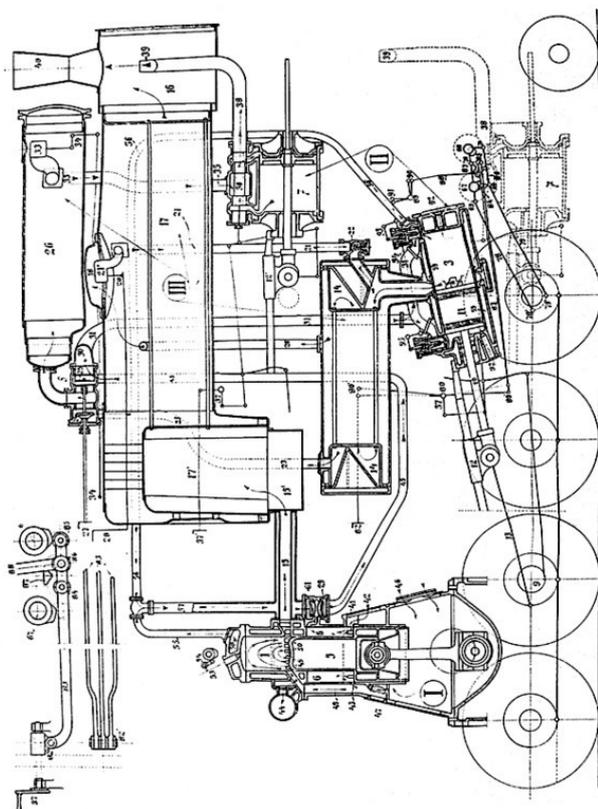


Схема тепловоза Ядова с двигателем внутреннего сгорания высокого давления двустороннего действия.

Атмосферный воздух поступает в замкнутую камеру 4 двигателя компрессорной установки через всасывающие 46 и нагнетательные 47 клапаны по каналам 48 и через продувочные отверстия 49 поступает в цилиндр 1. Продукты горения уходят через продувочные каналы 50 по каналу 15 в поддувало 15', топку 17' и дымогарные трубы парового котла 17 в дымовую коробку 16. Оттуда эти продукты горения под давлением продувочного воздуха и от действия конуса 39 уходят через трубу 40 в атмосферу. Топливо поступает через форсунки 53, управляемые распределительным механизмом 54. Искусственное охлаждение стенок цилиндров 1 и 3 двигателей осуществляется путём получения в водяных рубашках 58 и 59 достаточного разрежения и отсасывания из пространства этих рубашек водяного пара давлением ниже атмосферы. Ступенчатый поршень 5 при движении вниз производит разрежение в кольцевом пространстве 6 компрессора, куда пар поступает из полостей рубашек 58 и 59 по трубам 55, 56 и 57 через всасывающие клапаны 61, и, не доходя до нижнего мёртвого положения, открывает отверстия 41 цилиндра 1, соединяя кольцевые пространства 6 с атмосферой при помощи сеток 42. При открывании отверстий 43 кольцевое пространство 6 соединяется с каналом 48 и резервуаром 44. Смесь пара и воздуха подаётся через нагнетательные клапаны 29 и трубу 45 к распределительному прибору F. Двигатель высокого давления с двумя цилиндрами

драми 3, куда из компрессоров поступает смесь продувочного воздуха с паром по трубам 45, 30 и 31, связан с движущими осями тепловоза посредством штоков 10, крейцкопфов 12 и шатунов 13 движущей коленчатой оси 9. Продукты горения выходят из цилиндров 3 вместе с избытком продувочной смеси воздуха и пара через котёл-охладитель 14, трубы 23 в котёл-ресивер 26 и поступают от регуляторного клапана 33, управляемого приводом 34, по трубам 35 через золотники 36, действующие от кулисного механизма 37 и переводного винта 37', в два цилиндра двигателя 7 низкого давления и также приводят в движение коленчатую ось 9. Выпуск производится золотником 36 по трубам 38 через конус 39 и дымовую трубу 40. При холостой работе двигателя 3 ролики 85 и 86 при помощи тяг 83, рычага 80' и переводного винта 82 проводятся под кулису 87, клапаны 93 и 95 будут открыты, форсунки 92 закрыты, а обе стороны поршней 11 соединены между собой. Паровой регуляторный клапан 21' при помощи регуляторного рычага 20 будет тоже закрыт. Разъединены будут также трубы 30 и 31 от труб 45 клапаном 25 и котёл-ресивер 26 от труб 23 клапаном 24 распределительного прибора F при помощи привода 27. Валики 67 и 68 распределительного механизма имеют кривошипы 69 и 70, соединённые между собой спарниками 71 и 72. Пальцы кривошипов 74 и 75 промежуточного валика 73 соединены спарниками 76 и 77 с пальцами кривошипов 69, а эксцентриковыми спарниками 78 и 79 – с эксцентриковыми шайбами или кривошипами передней спаренной оси тепловоза. Передаточный рычаг 80', насаженный на валик 80, соединяется с тягами 83, снабжёнными роликами 84, 85 и 86. Валики роликов 86 соединены рычагами, свободно вращающимися на общем для них валике 89 при помощи тяг 88 рычага 90, 91, 91'.

При перемещении гайки переводного винта в одно из крайних положений двигатель высокого давления будет работать или при переднем ходе тепловоза (левое положение) или при заднем ходе (правое положение).

Холодильник на тепловозе отсутствует. Отвод тепла от стенок цилиндров двигателей внутреннего сгорания дизель-вакуумных компрессоров и двигателей высокого давления производится засасыванием такого количества пара давлением 0,5 атм, скрытая теплота испарения которого будет равна необходимо отводимому количеству тепла для охлаждения стенок до $\sim 80^{\circ}\text{C}$ ¹⁷.

Рама и ходовые части тепловоза остаются такие же, как и на паровозах типа 1—5—1 или паровозах Маллета типа 1—4+4—1 с двумя цилиндрами высокого давления, установленными на одной тележке, и с двумя цилиндрами низкого давления, установленными на другой тележке.

И. Ф. Ядов считал, что предлагаемый им тепловоз, освобождённый от парового котла как агрегата, участвующего в тепловом процессе локомотива, решает задачу экономичности локомотива и вопрос о его возможно большей мощности на тонну сцепной массы вполне удовлетворительно, имея коэффициент полезного действия около 33%.

Цилиндры двигателя низкого давления увеличивают мощность двигателя непосредственного действия почти вдвое, в результате его масса, приходящаяся на единицу мощности, уменьшается, что и является оригинальной особенностью тепловоза системы Ядова.

Экономии денежных средств при внедрении тепловозов взамен паровозов И. Ф. Ядов оценивал примерно в 40 – 50%, в том числе за счёт сбережения топлива около 10% и за счёт снижения эксплуатационных расходов около 35%.

¹⁷ Чтобы избежать применения парового котла инженеры Харьковского завода, изучив проект И. Ф. Ядова, в своём проекте применили для охлаждения выпускных окон продувочный воздух, а для охлаждения стенок цилиндра – расширение заранее сжатого воздуха. Для исключения ухудшения продувки при росте крутящего момента было намечено повышать давление сжатия, увеличивая впуск воздуха в первый период наполнения цилиндра. Продувка части расширяющегося воздуха (от давления 10 атм) через выпускные окна охлаждает последние.

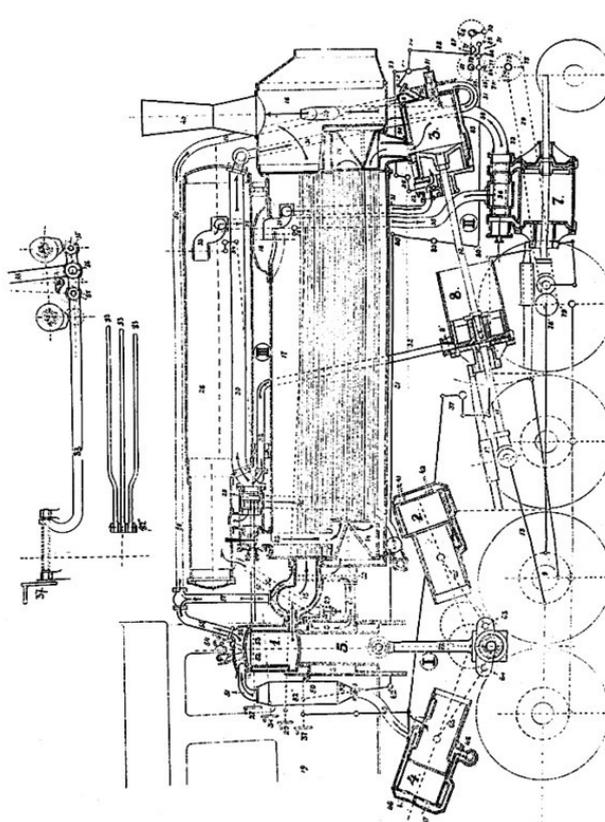


Схема тепловоза Ядова с двигателем внутреннего сгорания высокого давления одностороннего действия.

В этом случае появляется необходимость в четырёх отдельно конструируемых компрессорах 2 для сжатия продувочного и рабочего воздуха для цилиндров высокого давления 3 и четырёх компрессорах 4 для продувки цилиндров 1. К двум цилиндрам 3 добавляются ещё два цилиндра 8, поршни которых соединены штоками 10 с поршнями цилиндров 3, и двигатель 7 низкого давления. Продувочный воздух в смеси с паром в цилиндры двигателя высокого давления поступает из полости 6. Цилиндры 8 закрыты крышкой только со стороны движущей коленчатой оси 9, их поршни штоками 11, крейцкопфами 12 и шатунами 13 соединены с движущей осью 9 и приводят её во вращение. Задняя полость этих цилиндров при помощи коробок 8' и труб 32 соединена с трубами 30. Цилиндры 3 закрыты с обеих сторон крышками, и с задней стороны их поршней при помощи автоматического или управляемого клапана 22 при мёртвом положении поршней поступает пар из котла 17.

По расчётам тепловоз мог дать в эксплуатации сбережение топлива до 75 – 80% против расхода мазута и воды паровозами, и использовать до 70% силы сцепления при наибольших скоростях, выполняя все требования к средствам тяги поездов, применяемым на железных дорогах.

Трудно судить о тепловозе без осуществления его хотя бы частично, но проект профессора Ядова был предметом рассмотрения механической секции НТК НКПС¹⁸ и на съезде инженеров тяги в Москве, которые признали, что нефтевоз И. Ф. Ядова представляет из себя теоретически обоснованное предложение. Однако практическое его осуществление выливается в весьма сложное устройство, не могущее, видимо, компенсироваться теми выгодами, кои могут получиться при осуществлении в предложенной конструкции всего теплового процесса,

¹⁸ Научно-технический комитет Народного комиссариата путей сообщения

происходящего с использованием тепла отходящих газов и охлаждающей воды. Ввиду сложности проекта и наличия ряда узлов, требовавших большого предварительного изучения, проект И. Ф. Ядова принят не был.

Проект тепловоза Сидорова. В 1924 г. машинист Балтийского флота Г. С. Сидоров предложил конструкцию передачи, которая при трогании с места и работе на подъёмах позволяет отключать дизель от движущих осей, а при работе на площадках и езде под уклон сцеплять дизель с движущими осями посредством кулачковой муфты.

Двухтактный четырёхцилиндровый дизель двойного действия расположен наклонно в передней части тепловоза: два цилиндра снаружи и два внутри рамы. Кроме этих четырёх цилиндров установлены ещё четыре цилиндра, из них два цилиндра, продувочных, внутри рамы на общих скалках с поршнями внутренних цилиндров дизеля, а два цилиндра, пусковых, снаружи – под будкой машиниста. Общие крейцкопфы внутренних цилиндров посредством шатунов вращают отбойный вал, который особыми кулачковыми муфтами соединяется с наружными шайбами, связанными имеющими пальцы дышлами с пальцами движущих осей. Наружные цилиндры дизеля шатунами связаны с пальцами наружной шайбы, а пусковые цилиндры – с пальцами пятой движущей оси.

Отработавший в пусковых цилиндрах воздух, имеющий ещё высокое давление, в атмосферу не выпускается. Он направляется в продувочный резервуар, из которого и поступает для продувки внутренних цилиндров дизеля.

Одним из серьёзных затруднений при конструировании тепловоза Г. С. Сидоров считал вопрос о холодильнике. На Германской выставке завод Геншеля экспонировал холодильник, в котором охлаждающая стенки дизеля вода находится под давлением 5 атм, благодаря чему поднимается температура кипения и, следовательно, можно работать с более высокой температурой охлаждающей воды. Г. С. Сидоров делает испарение воды в зарубашечном пространстве при атмосферном давлении и температуре 100°С, значительно уменьшая таким образом размер холодильника, так как разность температур будет больше и, кроме того, коэффициент теплопередачи для насыщенного пара будет значительно выше, чем для горячей воды при прочих одинаковых условиях.

Образующийся в зарубашечном пространстве пар поступает в холодильник, в котором отдаёт тепло проходящему по трубкам воздуху, всасываемому конусом. Образовавшаяся вода после охлаждения пара стекает обратно в зарубашечное пространство для охлаждения стенок цилиндра дизеля.

Управление тепловозом происходит следующим образом. При трогании с места машинист разъединяет отбойный вал от шайб с кривошипными и ставит распределительный механизм продувочных цилиндров в такое положение, что отбойный вал будет вращаться в направлении движения тепловоза¹⁹, затем перекрывает золотником трубопровод и открывает регулятор. После этого сжатый воздух поступает из запасного резервуара в золотник и в продувочные цилиндры. После того как внутренние цилиндры дизеля прогреются, машинист переводит их на работу топливом, переставляет распределительный механизм продувочных цилиндров в положение, при котором эти цилиндры работают как компрессоры высокого давления, заполняя сжатым воздухом запасной резервуар тем же путём, каким сжатый воздух выходил из этого резервуара. Пополнив израсходованный воздух и доведя давление в запасном резервуаре до нормы, машинист ставит распределительный механизм пусковых цилиндров в такое положение, что тепловоз трогается с места в ту сторону, в какую вращается отбойный вал, и весь сжимаемый продувочными цилиндрами воздух полностью поступает в пусковые цилиндры, отработав в которых через золотники поступает в запасной резервуар продувочного воздуха, откуда попадает для продувки внутренних цилиндров двигателя внутреннего

¹⁹ В это время впускные клапаны пусковых цилиндров должны закрывать впускные пролёты.

сгорания. Продувочный же трубопровод наружных цилиндров дизеля в это время выключен (на схеме запорные органы не показаны).

Отработавшие во внутренних цилиндрах дизеля продукты сгорания выпускаются через выхлопные окна и конус в дымовую трубу.

При достижении необходимой скорости машинист включает кулачковую муфту, и дизель начинает вращать движущие оси. Включив наружные цилиндры дизеля на работу топливом, машинист закрывает регулятор и соединяет отбойный вал с кривошипами, а следовательно, и с движущими осями тепловоза. Переставив золотники, машинист переводит распределительный механизм пусковых и продувочных цилиндров в такое положение, при котором они начинают сжимать воздух для продувки наружных и внутренних цилиндров дизеля.

Для реверсирования тепловоза машинист сначала выключает подачу топлива в цилиндры дизеля, затем ставит распределительный механизм продувочных цилиндров в положение заднего хода. Остановка производится прекращением подачи топлива в цилиндры дизеля.

При определении главных размеров тепловоза Г. С. Сидоров производил расчёт не по заданному весу поезда, профилю пути, скорости и т. п., а исходя из максимальных размеров дизеля, при которых внутренние цилиндры дизеля разместились бы внутри между рамами. В результате диаметр цилиндров дизеля получился равным 480 мм, ход поршня был принят 700 мм, длина выхлопных окон 105 мм. Диаметр продувочных и пусковых цилиндров 550 мм, ход поршня 600 мм при коэффициенте избытка воздуха при продувке цилиндров дизеля 1,3. Максимальная частота вращения вала двигателя 300 об/мин. Расход топлива по расчёту составил 586,5 кг/ч. Касательная мощность при к. п. д. дизеля 33% составляет 2840 л.с, а сила тяги при конструкционной скорости 80 км/ч и диаметре колёс 1430 мм – 9585 кгс.

Сжатие пускового воздуха, принятое однократным, производится до давления 20 атм. Давление продувочного воздуха 1,2 атм. Объём пускового резервуара 12,3 м³, продувочного – 4 м³.

Для более быстрого разгона поезда принимается степень наполнения наружных пусковых цилиндров равной единице; тогда при частоте вращения связанного с внутренними продувочными цилиндрами отбойного вала, равной 300 об/мин, ведущие оси тепловоза будут делать 34 об/мин, что достаточно для надёжного воспламенения топлива в наружных цилиндрах дизеля.

Сила тяги на ободе движущих колёс при работе сжатым воздухом с механическим к. п. д., равным 86%, составляет 18100 кгс, а мощность на ободе движущих колёс – около 600 л.с. Как показали расчёты, предлагаемый тепловоз по мощности превосходил все построенные к тому времени европейские паровозы, а по силе тяги при малых скоростях был значительно сильнее русского товарного паровоза серии Э.

Г. С. Сидоров считал, что отсутствие вспомогательного дизеля, с одной стороны, и непосредственная передача работы от дизеля на движущие оси тепловоза при работе последнего на площадках и уклонах, с другой стороны, говорят о том, что тепловоз будет работать экономичнее, чем предлагавшиеся ранее тепловозы. Сложное управление тепловозом при пуске в ход и реверсировании Г. С. Сидоров считал недостатком своего тепловоза, который предполагалось устранить путём применения некоторых пусковых и реверсивных деталей, действующих автоматически.

Масса тепловоза типа 2—5—1 в рабочем состоянии составляет 117 т, из которых 90 т приходится на сцепные оси. Запас нефти 3,6 т. Жёсткая база 5960 мм, длина по буферам 15200 мм, ширина 2090 мм, высота 4430 мм.

Разработанный в феврале-марте 1925 г., этот проект был в мае-июне Г. С. Сидоровым изменен на тип 2—4—2, существенно в конструкции отличающийся от первого проекта. Вместо восьми цилиндров поставлено пять. Из них два пусковых оставлены прежними (под будкой

машиниста), а шесть прочих заменены тремя цилиндрами²⁰, два из которых наружные и один внутренний. В одной отливке с каждым из этих трёх цилиндров, по обоим концам, помещены продувочные и пусковые цилиндры. На тепловозе применены кулачковые муфты типа Ульхорна.

Серьёзными затруднениями при конструировании тепловоза было создание муфт, которые позволяли бы соединять шатуны машин с отбойным валом и разъединять их. Сложной была общая компоновка тепловоза.

Техническая секция НТК, неоднократно рассматривавшая проект тепловоза системы Сидорова, в своем решении от 29 октября 1928 г. признала конструктивную разработку проекта преждевременной и вместе с тем сочла желательной экспериментальную проверку рациональности цикла в лабораторно-заводских условиях параллельно с намеченными аналогичными испытаниями циклов Ядова, Мазинга и ГОМЗ²¹.

²⁰ В каждом цилиндре помещены два поршня, перемещающиеся один навстречу другому.

²¹ Государственное объединение машиностроительных заводов.

8-цилиндровый товаропассажирский тепловоз типа 2-С-1, пролетарий,
/СИСТЕМА МАШИНИСТА БАЛТФЛОТА Г. СИДОРОВА./

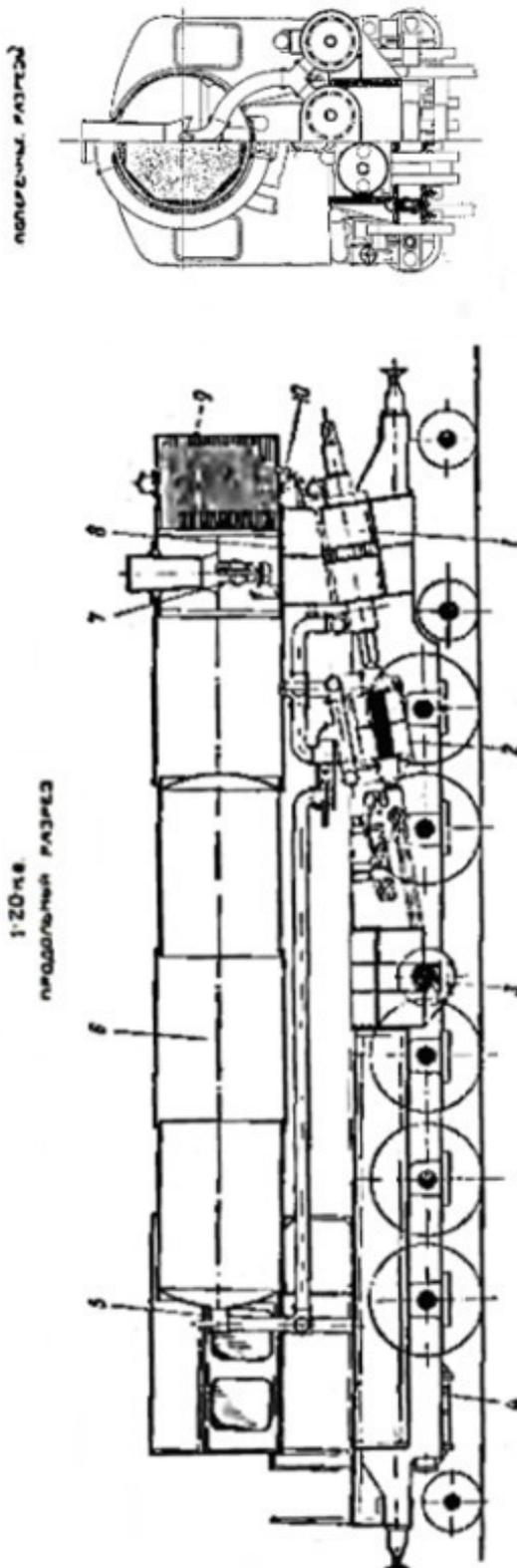


Схема тепловоза Сидорова.

1 – цилиндры двигателя; 2 – продувочные цилиндры; 3 – отбойный вал; 4 – пусковые цилиндры; 5 – регулятор; 6 – воздушный резервуар; 7 – конус; 8 – камера зарубашечного пространства; 9 – холодильник; 10 – водяной трубопровод.

Проект тепловоза Тринклера. Конструктор завода Сормово Г. В. Тринклер – крупный специалист в области двигателестроения – дав краткую характеристику того, что сделано в области тепловозостроения, пришёл к ряду выводов, которые смогли бы указать дальнейший путь возможной разработки проблемы тепловоза.

Указав на то, что непосредственная передача работы дизеля на движущие оси по типу Зульцера²² весьма желательна, так как устраняет всякие потери от промежуточных передач и даёт, таким образом, наивысшую отдачу установки, Г. В. Тринклер отмечает неэкономичность разгона поезда с помощью сжатого воздуха. Вспомогательный силовой аппарат, служащий для накачивания сжатого воздуха, получается слишком большой мощности, а используется слишком короткое время, соответствующее разгону поезда; в остальное время этот вспомогательный агрегат остаётся неиспользованным; значительно затрудняются первые вспышки из-за сильного охлаждения стенок рабочих цилиндров при расширении сжатого воздуха, особенно при длительном разгоне на подъёмах. Для получения этих первых вспышек приходится вводить в рабочий цилиндр сразу большие порции топлива, что сопряжено с опасностью весьма резких вспышек, сопровождающихся значительным повышением давления и ударами.

Таким образом, задача прямого соединения ходового двигателя с движущими осями могла быть разрешена, если бы возможно было изыскать надёжный способ разгона поезда, не применяя для этого сжатого воздуха. Задача эта удовлетворительно решается постановкой вспомогательного силового агрегата, не связанного жёстко с движущими осями, например, электрической или иной подходящей передачи.

Тепловоз Тринклера также представляется в виде комбинации двух агрегатов. Один из них – вспомогательный – служит для разгона поезда и в помощь на подъёмах; этот агрегат состоит из дизеля эффективной мощностью около 700 л.с. и передачи мощности на движущие оси посредством генератора и одного или нескольких электромоторов. Моторы связаны с движущими осями, соединёнными между собой сцепными дышлами. Вместо электропередачи при желании можно применить и любую иную связь – пневматическую, гидравлическую и т. п.

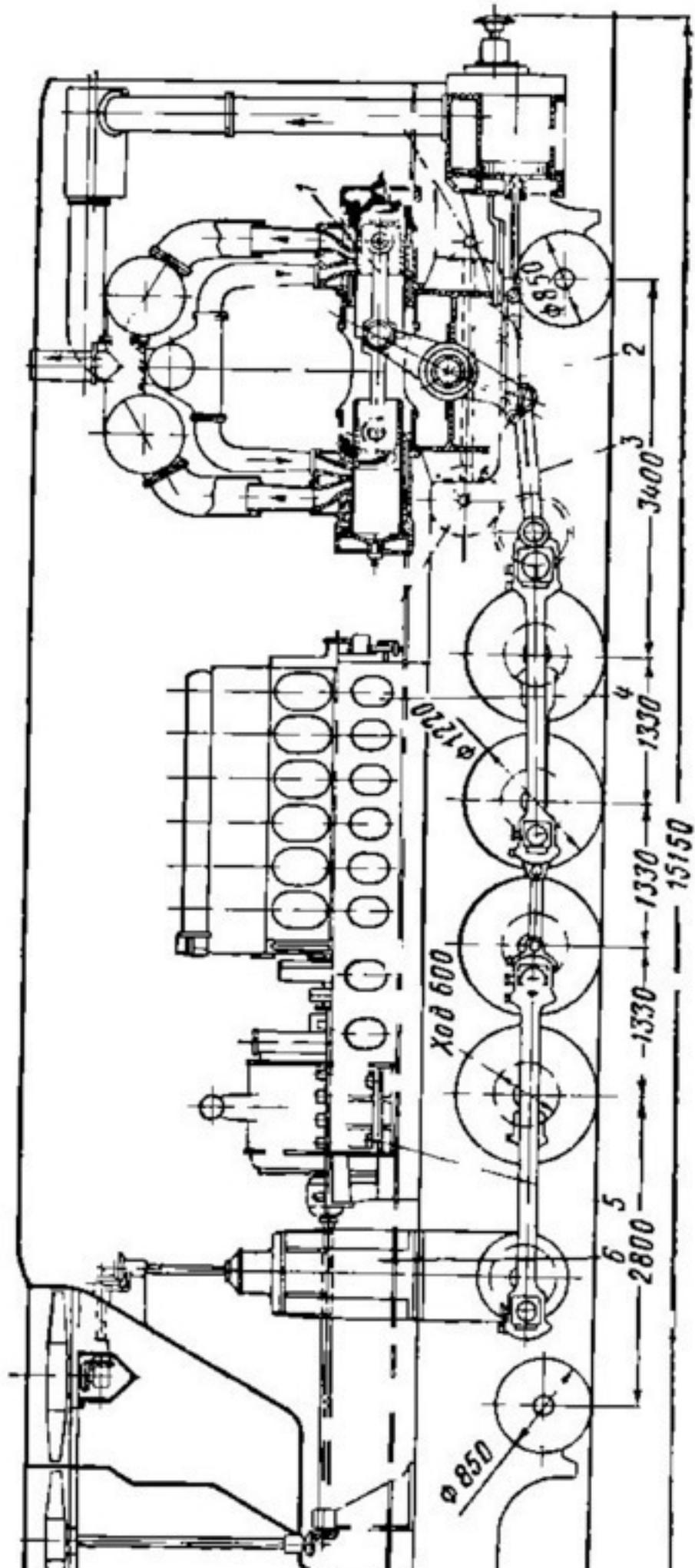
В случае электропередачи здесь вполне можно рассчитывать получить силу тяги при трогании с места около 15000 ÷ 16000 кгс, как у товарного паровоза 0—5—0 серии Э.

Работа вспомогательного двигателя связана с потерей 20 – 25% энергии в передаче, но на общий расход топлива это мало влияет, так как агрегат работает непродолжительное время.

В соответствии с выполненным ориентировочным расчётом Г. В. Тринклер получил общий вес силовой установки примерно одинаковый с дизель-электровозом Гаккеля при удвоенной по сравнению с последним общей касательной мощности, которая при одновременной работе обоих агрегатов с допустимой перегрузкой дизелей на 20% в течение получаса составляет 1764 л.с.

Результат получился настолько ощутимым, что конструктор решил произвести детальную конструктивную разработку этой идеи.

²² Тепловоз братьев Зульцер, подробно описан ниже.



Проект тепловоза Тринклера. 1925 – 1928 гг.

1 – рабочий цилиндр; 2 – балансиры; 3 – шатун; 4 – вспомогательный дизель; 5 – электрический генератор; 6 – электродвигатель.

В смысле экономии топлива предлагаемая им схема также обещала значительные выгоды, так как отдача ходового дизеля используется тепловозом полностью; если принять, что дизель имеет коэффициент полезного действия 33%, то для тепловоза с электрической передачей общая отдача, отнесённая к ободу колёс, будет только 24,5%.

Для предлагаемого тепловоза при работе только на главном дизеле отдача с учётом механических потерь составляет 29,9%. Если предположить, что одновременно работают с полной мощностью оба агрегата, то за вычетом потерь в силовой электрической цепи вспомогательного агрегата, общий коэффициент полезного действия установки равен 28,5%.

В 1923 г. Г. В. Тринклер предложил проект тепловоза, имеющего ходовой двигатель нормальной эффективной мощностью 1000 л.с. с четырьмя или более цилиндрами, прикреплёнными группами к локомотивной раме. С каждой стороны рамы установлены по два рабочих цилиндра, поршни которых сообщают движение особому укреплённому на раме балансиру. Оба эти цилиндра расположены вертикально. От балансира движение шатуном передаётся прямо на палец спаренного дышла ведущей оси – такая передача имеется с каждой стороны тепловоза. Благодаря такому непосредственному действию главного двигателя на оси без передачи гарантировано высокое значение коэффициента полезного действия.

На раме устанавливается быстроходный вспомогательный дизель с электрогенератором, приводящим во вращение электромотор с осью, расположенной параллельно движущим осям тепловоза, находящийся внутри кузова тепловоза. На концах этой оси установлены диски. Палец каждого диска дышлом связан с пальцем одного из пяти спаренных колёс. Работа вспомогательного двигателя не зависит от скорости тепловоза, им производятся трогание с места и дополнительная работа при входе на большой подъём. Вспомогательный агрегат начинает вращать главный двигатель, который пускового устройства не имеет. Вал каждой пары цилиндров при трогании тепловоза с места вращается не от работы этих цилиндров, а вследствие наличия соединения их балансира с пальцем одного из спаренных движущих колёс, которые вращаются от работы вспомогательного двигателя.

По достижении поездом скорости около 10 км/ч, а главным двигателем — соответствующей частоты вращения, начинается нормальный процесс сгорания топлива в цилиндрах главного двигателя и он начинает работать самостоятельно параллельно со вспомогательным. После этого вспомогательный агрегат может вращаться вхолостую, производить некоторую работу, увеличивая тем самым общую мощность тепловоза, или вообще быть остановлен.

Тепловоз типа 1—5—1 имел общую массу 114 т, сцепную – 90 т. Давление на спаренные оси 18 тс, на бегунки – 12 тс²³.

Главный четырёхцилиндровый двигатель с диаметром цилиндров 500 мм и ходом поршня 600 мм развивает наибольшую частоту вращения 330 об/мин. Мощность при наибольшей скорости около 82 км/ч составляет 1025 л.с., а при скорости 50 км/ч – 640 л.с. Диаметр движущих колёс 1320 мм.

Вспомогательный шестицилиндровый двигатель с диаметром цилиндров 370 мм и ходом поршня 380 мм развивает наибольшую частоту вращения 500 об/мин. Мощность двигателя 675 л.с. Генератор и электромотор – постоянного тока.

Позже проект, по-видимому, был несколько изменён, так как изображённый на чертеже, датированном 1925 – 1928 гг., тепловоз имеет тип 1—4—1 и диаметр ведущих колёс 1220 мм²⁴.

²³ По данным К. К. Дмоховского.

²⁴ По данным П. В. Якобсона.

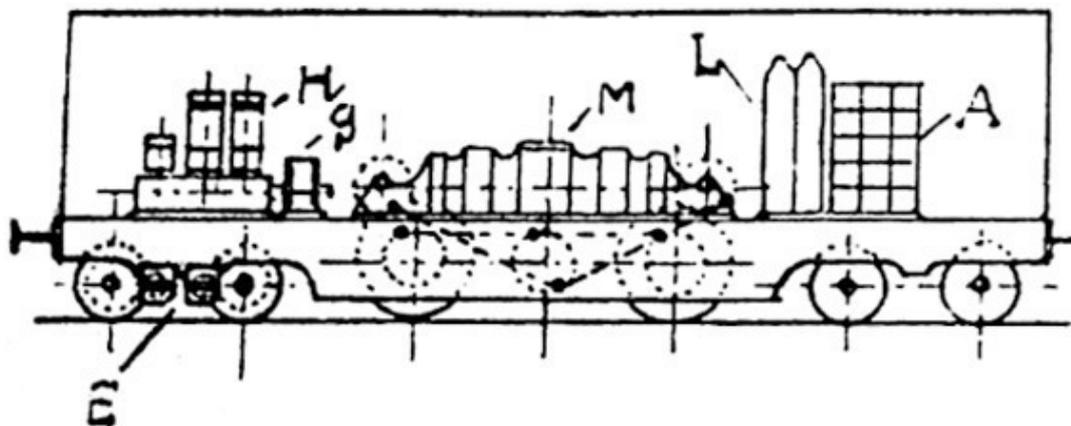


Схема тепловоза Креглевского.

На раме тепловоза установлен основной горизонтальный двигатель М, вспомогательный двигатель Н с компрессором К и электрогенератором G, баллоны для сжатого воздуха L и аккумуляторы А. Электрическая энергия генератора может быть использована в моторах Е или накапливаться в аккумуляторах А, если в работе моторов не будет необходимости.

Хотя тепловоз Тринклера не содержал неосуществимых элементов, а также неправильных принципиальных решений, и дальнейшая работа по этому проекту могла бы быть продолжена, проект не был осуществлён. В тот период он был признан сложным. К тому же, применение электроустановки на тепловозе с непосредственным приводом вряд ли оправданно, поскольку постоянно связанный с движущими осями тяговый электродвигатель создаёт повышенное сопротивление движению в то время, когда электромашин работают вхолостую. А, насколько можно судить по чертежу и описанию, устройства, позволяющего отсоединять электромотор от движущих осей, на тепловозе предусмотрено не было.

Тепловоз Креглевского. Аналогичная схема тепловоза была несколько раньше предложена профессором Креглевским²⁵ в Германии²⁶; имеется ссылка на неё и схематический чертёж в статье о тепловозах инженера К. Ф. Неймайера²⁷.

При трогании с места тепловоз имеет все преимущества дизель-электровоза, маневрирование также не представляет никаких затруднений. При работе одного основного двигателя имеются все преимущества непосредственной передачи работы последнего на оси локомотива; на подъёмах, вводя в работу вспомогательный двигатель, можно добиться значительно меньшего снижения скорости, обычного в таких случаях, и, кроме того, можно брать более крутые подъёмы.

²⁵ Kruppsche Monatshefte, апрель 1922.

²⁶ Этой же идеи придерживался Крупп. Он предложил схему с двумя дизелями. От одного из них мощность передаётся на колёса через электрическую передачу, а другой непосредственно связан с колёсами. При трогании мощность передаётся на колёса только через электрическую передачу. По достижении определённой скорости начинает развивать мощность и дизель, непосредственно соединённый с колёсами. В последующем интервале скоростей дизель-электрическая группа работает с постоянной мощностью, а регулирование мощности тепловоза производится путём изменения подачи топлива в двигатель, непосредственно связанный с колёсами. Так как размеры электромоторов и генератора определяются из условий допустимого нагрева, то фактически вес и стоимость тепловоза Круппа могут и не оказаться меньшими вследствие большой силы тока при трогании по сравнению с тепловозом с чисто электрической передачей, но при этом получается более сложное управление.

²⁷ Инженерный труд, 1924, №3.

Коэффициент полезного действия вспомогательной установки был принят на уровне 80%. Мощность основного двигателя тепловоза 1200 л.с., вспомогательного 300 л.с., следовательно, общая мощность силовой установки составляет 1500 л.с.

Насколько известно, тепловоз этой схемы также не был осуществлён, несмотря на его достоинства.

Система передачи Пипера. В некоторой степени с идеями Креглевского и Тринклера перекликается система бельгийского инженера Анри Пипера, которая была разработана для пассажирских автомотрис, но могла быть применена и для товарных тепловозов с дизелем мощностью 300 ÷ 400 л.с.

Конструкция Пипера есть одна из систем непосредственного привода от двигателя внутреннего сгорания к ведущей оси, работающего с наименьшими потерями на внутреннее сопротивление. Тяговое усилие, а также скорость движения, отвечающие нормальной частоте вращения двигателя, определяются по передаточному числу зубчатого редуктора на ведущей оси. Колебания в потребной мощности, которые наблюдаются при трогании с места и при следовании по участку с изменяющимся профилем, выравниваются в системе Пипера дополнительной установкой, состоящей из аккумуляторной батареи и электрической машины на валу дизеля. В зависимости от избытка или недостатка мощности дизеля электрическая машина работает или как генератор, или как мотор. Управление ходом осуществляется при помощи контроллера.

Электрическая машина, питаемая током батареи, служит стартёром. Для пуска в ход достаточно одного движения главной рукоятки контроллера. Включение сцепной электромагнитной муфты, находящейся между электрической машиной и дизелем, производится отдельной, «малой», ручкой контроллера. Вторая сцепная муфта между электрической машиной и ведущей осью включается автоматически при переводе главной рукоятки контроллера на следующее деление. Плавность трогания с места обеспечивается естественным проскальзыванием сцепляющих поверхностей магнитной муфты. В случае необходимости можно применить постепенное усиление рабочего тока муфты. Быстрота разгона зависит от ёмкости аккумуляторной батареи; практически размеры батареи получаются небольшие, так как она непрерывно то заряжается, то разряжается.

Регулировка скорости движения производится передвижением главной рукоятки контроллера, чем изменяется возбуждение электрической машины, а следовательно, и доля её участия в механической энергии, передаваемой на ведущую ось. По мере увеличения скорости движения наступает момент, когда дизель начинает развивать большую мощность, чем требуется для преодоления сопротивления движению поезда. Тогда электрическая машина превращается из электромотора в генератор электрической энергии²⁸. Переход электрической машины из моторного режима (разрядка батареи) в генераторный (зарядка батареи) и наоборот, происходит автоматически. Однако у машиниста есть возможность регулировать в обоих случаях интенсивность работы электрической машины, воздействуя на возбуждение передвижением главной рукоятки контроллера.

При следовании под уклон или при подходе к остановке полезная работа дизеля снижается до наименьшей величины, тогда как электромашина, вращаемая от ведущей оси, поглощает живую силу движущегося поезда и утилизирует её на подзарядку батареи, т. е. действует как электрический тормоз. Тормозная сила регулируется машинистом. Для быстрой остановки применяется переключение накоротку. В случае необходимости можно выключить первую сцепную муфту и полностью остановить дизель, но при проходе коротких спусков, его обычно оставляют в ходу. Окончательной остановки, как и при электрической тяге, описанным спосо-

²⁸ За счёт того, что электродвижущая сила электрической машины начинает превышать электродвижущую силу аккумуляторной батареи.

бом получить нельзя, но замедление хода происходит очень интенсивно и в тоже время плавно; для окончательной остановки используются пневматические тормоза.

В системе Пипера распределительный механизм устроен таким образом, что двигатель работает одинаково при любом направлении вращения, которое устанавливается в зависимости от первого толчка при пуске в ход. Благодаря такой конструкции распределительного механизма реверсирование переносится в контроллер и выполняется передвижением второй малой ручки, переключающей пусковой ток электромашин. Таким образом, тепловоз системы Пипера вполне пригоден для маневровой службы при надлежащем расчёте аккумуляторной батареи.

Расход топлива в системе Пипера находится под двойным контролем. С одной стороны, работает обыкновенный центробежный регулятор, изменяющий подачу топлива в зависимости от колебания частоты вращения дизеля; с другой стороны, имеется электрический регулятор, управляемый током между электрической машиной и батареей, уменьшающий подачу топлива до минимума при отдаче батареи и дающий полную свободу действия первому регулятору в периоды полезной работы дизеля.

Система оснащена контрольными указательными приборами – скоростемером, амперметром, вольтметром, счётчиком зарядки и разрядки батареи, тахометром и другими. Как и тепловозы других систем, тепловоз Пипера имеет воздушный компрессор для работы тормозов и звукового сигнала.

Преимущества системы Пипера заключаются в возможности иметь дизель меньшей мощности²⁹, работающий в режиме экономного расхода топлива за счёт постоянной нагрузки и рекуперации энергии при торможении. Рекуперативное торможение позволяет поддерживать постоянную скорость на спусках при меньшей изнашиваемости тормозных приборов, колодок и бандажей, а также является дополнительным средством обеспечения безопасности движения поездов. Тепловоз прост в управлении, заключающемся в передвижении ручек контроллера. Остальные процессы происходят автоматически. Система Пипера допускает с одного поста управления работу по системе многих единиц.

О постройке тепловоза этой системы сведений не найдено.

Проект тепловоза Максимова. В 1927 г. инженер М. В. Максимов предложил тепловоз с двухтактным двигателем внутреннего сгорания, в котором воздух, сжатый в особом компрессоре до рабочего давления и подогретый затем отработавшими газами, подаётся под этим давлением в цилиндры двигателя, где и происходит непосредственное сгорание топлива.

На раме тепловоза установлены два многоцилиндровых дизель-компрессора, двухтактных, быстроходного типа, с двух- или трёхступенчатым сжатием воздуха в цилиндрах компрессора, причём желательное отсутствие охлаждения воздуха в ресиверах. Всасывающая труба компрессора выведена через крышу тепловоза и снабжена на наружном конце расширенным и изогнутым колпаком, устанавливаемым против хода тепловоза, для увеличения коэффициента подачи воздуха в цилиндр компрессора.

Сжатый до 35 атм воздух из компрессора поступает во внутреннюю полость двустенного резервуара. Наружная полость резервуара обогревается отработавшими газами, поступающими от дизель-компрессора и от главной машины и уходящими затем наружу. Горячий сжатый воздух из резервуара через регулирующий клапан и золотник поступает в камеры сгорания двухцилиндровых двухтактных двигателей двойного действия с мотылями, расположенными под углом 90°. Цилиндры двигателя снабжены выпускными клапанами, форсунками и калоризаторами. Для охлаждения рубашечной циркуляционной воды, установлены два радиатора, позади которых имеется решётка с направляющими рёбрами, которые за ненадобностью охлаждения калоризаторов направляют воздушный поток под корпус тепловоза.

²⁹ Благодаря дополнительному источнику энергии в виде аккумуляторной батареи.

Перед пуском тепловоза в ход разогревают калоризаторы, открывают клапан, и сжатый воздух из резервуара, всегда наполненным сжатым воздухом, подаётся в камеру сгорания одного из цилиндров двигателя, поршень которого стоит вблизи мёртвой точки. Затем в камеру сгорания подаётся нефть, которая, попадая на разогретый калоризатор, воспламеняется и обеспечивает рабочий ход поршня под нагрузкой. Следующим ходом поршень выталкивает продукты сгорания. В конце этого хода камеры сгорания снова заряжаются сжатым воздухом из резервуара. Таким образом, главная машина работает по двухтактному циклу без хода сжатия, но с ходом выхлопа. Когда тепловоз придёт в движение, пускают дизель-компрессоры, подающие воздух в резервуар, в который также добавляются отработавшие газы, благодаря чему воздух нагревается до 800°K, и в дальнейшем процесс в главной машине может протекать по циклу Дизеля без сжатия, но с выталкиванием; ход сжатия выполняется дизель-компрессором. Клапаном изменяют количество воздуха, поступающего в камеру сгорания, а регулятором нефтяного насоса – количество нефти. Рукояткой газораспределитель переставляется на передний или задний ход. Главные машины приводят в движение коленчатые оси, спаренные дышлами со сцепной осью. Вес главных машин нагружает бегунки крайних тележек, вес дизель-компрессоров – ведущие оси. При небольшом составе, горизонтальном профиле пути и установившемся движении поезда может работать лишь одна из двух групп. На подъёмах должна быть включена и другая группа.

Техническая секция НТК от 24 февраля 1928 г. признала, что рабочая машина тепловоза, предлагаемого М. В. Максимовым, представляет собой разделённый двигатель внутреннего сгорания, являющийся удачной комбинацией известных идей (И. Ф. Ядова, Э. Сперри), и при надлежащем конструктивном исполнении может представить интерес. Поэтому секция считала целесообразным дать возможность М. В. Максиму закончить разработку проекта применительно к паровозу У^у и после рассмотрения проекта решить вопрос о постройке опытной машины. Однако проект разработан не был и опытная машина не была построена.

Тепловоз Максимова – чрезвычайно интересное и простое решение применения двигателя внутреннего сгорания в качестве локомотивного двигателя. Такой тепловоз, обладающий простыми органами управления и простой конструкцией основных элементов, дал бы возможность получить простой и дешёвый в эксплуатации локомотив.

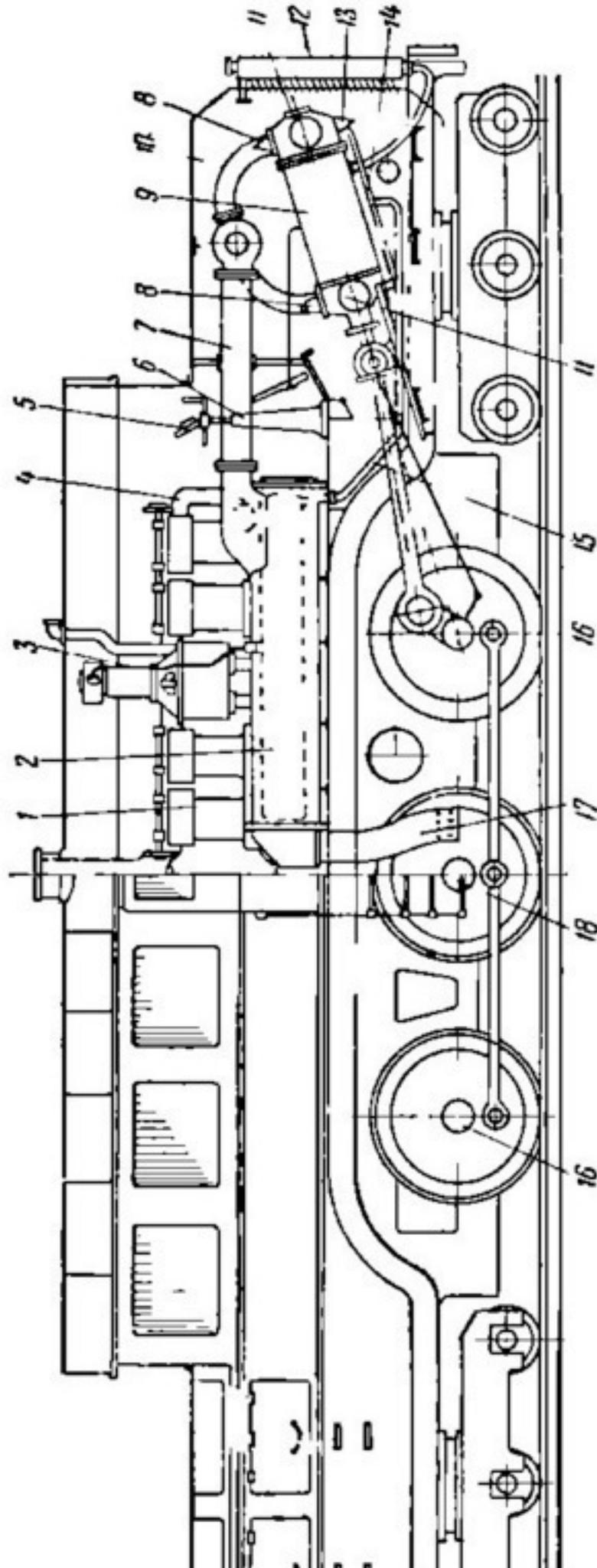


Схема тепловоза Максимова.

1 – компрессор; 2 – резервуар; 3, 4, 7, 10, 14, 15, 17 – трубы; 5 – рукоятка газораспределителя; 6 – регулирующий клапан; 8 – выпускные клапаны; 9 – главный двигатель; 11 – калоризаторы; 12 – радиатор; 13 – золотник; 16 – коленчатые оси; 18 – сцепная ось.

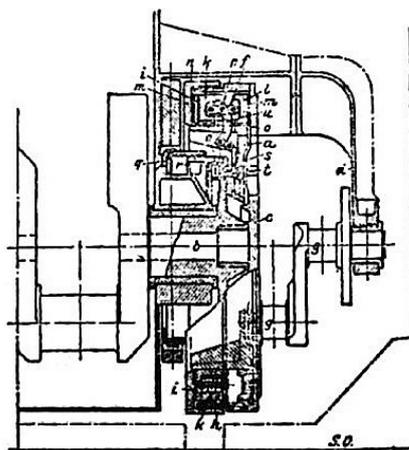
Проект Эсслингенского завода. В Германии в 1927 г. появился проект тепловоза с непосредственным приводом, выполненный заводом в Эсслингене.

Тепловоз спроектирован с отсоединяемым от движущих колёс первичным двигателем. На этом тепловозе установлены два V-образных двигателя, соединённых с помощью фрикционных муфт с отбойными валами. Крутящий момент передаётся через отбойный вал и спарники на движущие колёса.

При трогании тепловоз работает с переменным проскальзыванием. Изменение максимальной силы тяги достигается путём работы с двумя, а затем с одним двигателем. Поэтому в дизельной группе один из двигателей следует рассматривать как вспомогательный, который выключается при следовании, а регулирование силы тяги производится путём изменения наполнения в другом.

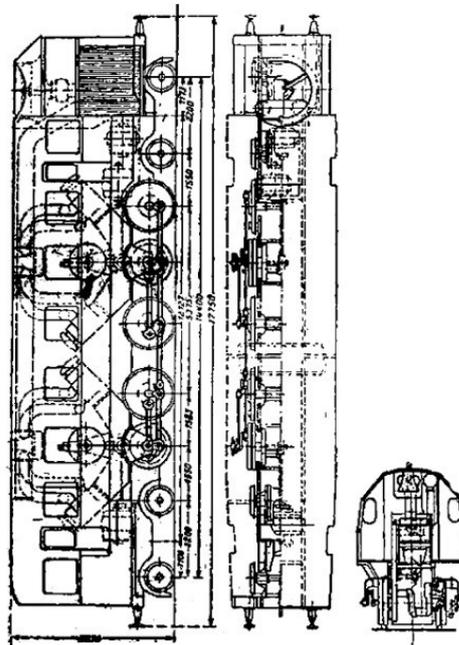
Для приближения к идеальной тяговой характеристике по достижении скорости, приблизительно равной 50 км/ч, следует выключить муфту, соединяющую один из дизелей с колёсами, и затем регулировать силу тяги тепловоза путём изменения подачи топлива в другом дизеле. Максимальная мощность такого тепловоза равна 3980 л.с. при скорости 90 км/ч, в то время как мощность тепловоза с электрической передачей равна 1520 л.с.

Проект тепловоза Дыренкова. Тепловозом с непосредственным приводом является и изобретённый Н. И. Дыренковым газогенераторный тепловоз (советский патент №17311, выданный в 1930 г.). Отказаться от употребления в тепловозах дорогостоящего топлива, как нефть, и перейти на низкосортные топлива (уголь, дрова, торф и т. п.) – эту задачу давно ставили перед собой изобретатели. С созданием тепловоза, работающего на низкосортном топливе при к. п. д. в пределах даже 20%, потребление низкосортного топлива по сравнению с паровозом уменьшалось бы в 3 – 4 раза.



Фрикционная муфта Ломан и Штольтерфота. Из журнала «Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens», 1927, стр. 41. Одна часть муфты – ведущий диск *a* – закреплена на коленчатом валу *b*. Вторая часть муфты вращается с кривошипным диском *c* в подшипнике *d* кривошипного пальца *g*. С кривошипным диском *c* связано кольцо *n*. Сила трения реализуется нажатием на фрикционные накладки *i* через пружины *h* и кольцо *k* или соответственно через пружину *h* и рычаги *e* и *f* на кольцо *l*. В крайнем положении выступ *p* рычага *f* лежит на кольце *k*. Если необходимо уменьшить силу трения,

следует повернуть с помощью червяка гайку q и таким образом передвинуть влево кольцевой шайбой r с коленом s толкающее кольцо t , вследствие чего рычаг e повернётся, и фрикционные накладки могут быть полностью освобождены. Фрикционные накладки допускают 2 мм износа.



Проект тепловоза машиностроительного завода в Эсслингене с фрикционными выключаемыми муфтами между валом дизеля и колёсами («Organ f. d. Fortschr. Eisenbahnw». 1927, стр 39).

Осевая формула 2—4—2. Службная масса 122 т. Ширина колеи – 1435 мм. Мощность – 3950 л.с. Сила тяги при трогании 13000 кгс. Сила тяги при 80 км/ч – 1200 кгс. Максимальная скорость – 90 км/ч. Дизель V-образный 2×4 цилиндра. Мощность дизелей 2×2000 л.с. Передача мощности через фрикционные муфты и параллельно-кривошипную передачу.

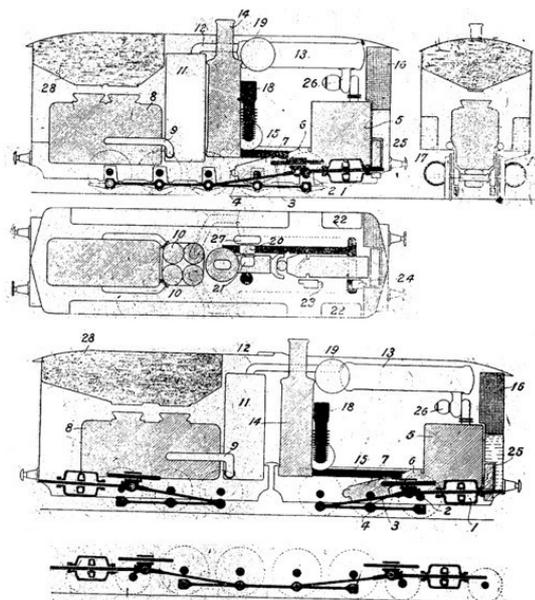


Схема тепловоза Дыренкова: сверху – на раме паровоза Э, внизу – на отдельных тележках. 1 – реверсивный газовый двигатель; 2 – крейцкопф; 3, 4 – дышловой механизм; 5 – вспомогательный двигатель; 6, 7 – механическая передача; 8 – газогенератор; 9, 12,

15 – трубопроводы; 10 – мокрые очистители; 11 —кожух; 13 – сухие очистители; 14 – паровой котёл; 16 – холодильник; 17 – цистерны для воды; 18 – паровой компрессор; 19 – резервуар сжатого воздуха; 20 – паросиловая установка; 21 – генератор; 22 – аккумуляторные батареи; 23 – стартёр; 24 – запасной электродвигатель; 25 – вентилятор; 26, 27 – центробежные компрессоры; 28 – топливный бункер.

Предлагаемый тепловоз состоит из главного реверсивного газового двигателя двойного действия, двух- или четырёхцилиндрового, который при помощи крэйцкопфов непосредственно соединяется с ведущими колёсами тепловоза; на раме же тепловоза установлен газовый вспомогательный быстроходный двигатель, посредством механической передачи соединённый с одной из ведущих осей. Оба двигателя питаются одним газовсасывающим генератором, который вырабатывает газ, поступающий по трубопроводам в группу мокрых очистителей, окружённых кожухом. Кожух препятствует охлаждению всасываемого газогенератором воздуха. Из очистителей газ поступает по другому трубопроводу в группу смолоотделителей и сухих очистителей, камеры которых имеют увеличенный объём для того, чтобы они служили в то же время и аккумуляторами давления во всасывающем трубопроводе.

В средней части тепловоза установлен паровой котёл, обогреваемый отработавшими газами главного и вспомогательного двигателей, подаваемыми по трубопроводу, причём нижняя часть котла устроена таким образом, чтобы зимой при длительных стоянках на открытом воздухе или в холодном депо можно было производить обычную топку котла для обогрева тепловоза и воды в рубашках цилиндров. Вода для питания котла берётся тёплой, после выхода её из водяных рубашек двигателей, перед поступлением в холодильник. Взамен отобранной в котёл горячей воды в охлаждающую систему автоматически подаётся холодная вода из цистерн. Пар из котла направляется в паровой компрессор воздушного тормоза обычного паровозного типа и в паросиловую установку, состоящую из паровой турбины или быстроходной паровой машины, соединённой с генератором. Генератор питает две аккумуляторные батареи, работающие на осветительную сеть, электрический стартёр для вспомогательного двигателя, запасной электродвигатель для вентилятора холодильника и электродвигатель трёхступенчатого центробежного компрессора, включённого во всасывающий трубопровод вспомогательного двигателя. Такой же большой компрессор, включённый во всасывающий трубопровод главного двигателя, может соединяться при помощи муфты непосредственно с паросиловой установкой. Отработанный пар из компрессора и паросиловой установки направляется под колосники газогенератора или же в атмосферу. Кроме мятого пара под колосники газогенератора подаётся и перегретый пар из котла непосредственно (в зависимости от количества мятого пара и интенсивности работы газогенератора). Запас топлива для удобства загрузки шахт генератора помещается в бункере.

После растопки газогенератора вспомогательный двигатель пускается в ход электрическим стартером³⁰. При поездной работе с растопленным газогенератором вспомогательный двигатель при помощи передачи трогает тепловоз с места, зажигание горючей смеси в цилиндрах главного двигателя устанавливается при этом в мёртвой точке для предотвращения обратных ударов. С первых же оборотов колёс в цилиндрах главного двигателя начинаются вспышки смеси; с увеличением скорости устанавливается нормальное опережение зажигания и, по достижении скорости 8 – 10 км/ч, вспомогательный двигатель может быть выключен. На подъёмах вспомогательный двигатель включается в помощь главному, причём на тяжёлых и затяжных подъёмах включаются компрессоры для улучшения наполнения двигателей

³⁰ В случае если перед отправкой тепловоза в рейс предстоят длительные манёвры с малыми скоростями движения, вспомогательный двигатель можно пускать на жидком топливе, не ожидая окончания растопки газогенератора; для маневровой работы вообще можно обходиться одним вспомогательным двигателем на жидком топливе, не растапливая газогенератора.

и повышения их мощности. Возможность получать вспышки в рабочих цилиндрах главного двигателя на самых малых скоростях имелось в виду обеспечить тем, что горючая смесь для работы двигателя получается вне рабочих цилиндров, независимо от частоты вращения вала двигателя, и поступает в рабочие цилиндры в готовом виде. Это представляет собой одно из преимуществ данной системы тепловоза перед тепловозами с непосредственным приводом других систем с двигателями жидкого топлива, так как в последних горючая смесь приготавливается внутри рабочих цилиндров, вследствие чего для начала работы этих двигателей требуется значительный разгон, требующий большой мощности вспомогательных двигателей.

Показанная схема оборудования предлагаемого тепловоза на раме паровоза 0—5—0 серии Э отличается скупенностью оборудования и необходимостью сосредоточивать большую мощность (до 500 л.с.) в одном цилиндре. Другая схема представляет собой установку на двух тележках с одним вспомогательным двигателем и с самостоятельными главными двигателями на каждой тележке. В этом случае на первой тележке установлены двухцилиндровый главный двигатель, газогенератор, группа мокрых очистителей и помещён запас топлива, на второй же – другой двухцилиндровый главный двигатель, вспомогательный двигатель, котёл, сухие очистители и все прочие вспомогательные устройства. Преимуществом этого типа является лучшее вписывание в кривые, более удобное обслуживание всех частей оборудования и меньшая мощность главных двигателей.

Проект тепловоза 2—3—1. Если в цилиндр подавать горячий воздух, то процесс вспышки может быть осуществлён не только при любой малой скорости поршня, но даже и при нахождении двигателя в состоянии покоя, как это и производится в бомбах при исследовательских работах.

Можно было бы подводить к главному двигателю подогретый воздух перед всасыванием его или же вводить его перед сжатием. Однако и при этом необходима ещё пусковая машина, которая должна быть, правда, уже меньших размеров, поскольку она предназначена для меньшего периода работы.

Если же подводить к главному двигателю горячий воздух в конце хода сжатия и под таким давлением, которое обеспечивало бы необходимый вращающий момент для трогания с места, то в качестве пускового прибора необходима лишь сравнительно небольшая компрессорная установка для подачи сжатого воздуха.

Этот метод нашёл применение в проекте локомотива 2—3—1 мощностью (наибольшей) 1400 л.с. со сцепной массой 45 т³¹.

Работающий по такому принципу локомотив имеет следующую конструкцию. Главные рабочие цилиндры приводят ведущие оси в движение непосредственно, будучи расположены точно так же, как и паровые цилиндры эквивалентного по мощности паровоза и обладая примерно теми же размерами. Наивысшее давление для горения не должно быть выше давления пуска двигателя в ход при трогании локомотива с места. Пусковой воздух получается с помощью вспомогательного агрегата и нагревается до 350°С в подогревателе, отапливаемом отходящими газами вспомогательного двигателя. Подогреватель и компрессор мало отличаются от установленных на тепловозе Эсслингенского завода с пневматической передачей, о котором речь пойдёт ниже. Их мощность устанавливается такой, чтобы имелась возможность при помощи одного лишь воздуха и на пределе сцепления развить скорость примерно до 6 км/ч. Этим самым разрешается вопрос и с манёврами. Как только к рабочим цилиндрам, которые обогреваются водой, охлаждающей вспомогательный двигатель, будет подведён горячий воздух, может быть введено и топливо для горения. Таким образом, уже на первых же оборотах возможна смешанная работа двигателя. Если двигатель хорошо предварительно прогреет,

³¹ Занден К., Вольшлегер Г. Новое решение проблемы тепловоза с непосредственной передачей. Локомотивостроение, Сб. 2, 1931, стр. 45 – 52.

то подвод горячего воздуха может быть прекращён и дальнейшее следование локомотива возможно уже на чисто дизельном процессе; можно, конечно, следовать и далее с подачей горячего воздуха, осуществляя наддув высокого давления, который позволяет увеличить площадь рабочей диаграммы до полного давления. Благодаря этому, среднее эффективное давление может достигнуть значения, в два раза большего, чем при обычном процессе дизеля. При соответствующей скорости существует и определённая граница тепловой нагрузки цилиндра, как и при всякой системе наддува. Естественным образом подача топлива не может производиться в этом случае обычным способом. Поскольку рабочая диаграмма должна быть вместо узкой и высокого давления, значительно более широкой и без большого подъёма давления, топливо должно подводиться медленно. Для этой цели необходимы особые приборы, с помощью которых топливо должно распыливаться в небольших количествах, причём распыливающее давление должно всё время оставаться неизменным и независимым от частоты вращения.

Распределительные органы должны быть устроены таким образом, чтобы работа на одном воздухе, на смешанном процессе, а также и на чисто дизельном процессе, могла производиться в обоих направлениях движения одинаково.

Проект тепловоза Хлебникова. В 1932 – 1945 гг. инженер Г. К. Хлебников работал над проектом тепловоза, в котором разгон предполагалось осуществлять сжатым воздухом, подаваемым в главный двигатель тепловоза, а регулирование мощности – изменением подачи топлива и количества наддувочного воздуха. Для уменьшения степени сжатия при трогании намечалось устройство дополнительных камер у цилиндров двигателей; при этом объём камер мог изменяться по воле машиниста. Как и в проекте М. И. Пригоровского, в проекте Г. К. Хлебникова для получения сжатого воздуха на тепловозе предусматривалась специальная дизель-компрессорная установка, а для воспламенения топлива при пониженном давлении сжатия — специальные запальники.

Г. К. Хлебников считал, что для решения проблемы тепловоза с непосредственным приводом необходим главный двигатель, при котором трогание и разгон состава производились бы в основном за счёт сжигания топлива в воздухе, поданном в цилиндр в период всасывания или продувки. Для увеличения же среднего индикаторного давления в этот период необходимо применить верхний наддув и запал от постороннего источника. Зажигание смеси должно быть в самом цилиндре, действовать оно должно только в период разгона, безотказно воспламеняя топливо при всех тепловых состояниях двигателя. При вводе запальника в цилиндр двигателя с высокой степенью сжатия давление вспышки может достигнуть $100 \div 120$ атм. Этот недостаток устраняется, если объём камеры сжатия на период трогания увеличивать, а потом уменьшать до размеров, обеспечивающих самовоспламенение топлива. Расход наддувочного воздуха для получения среднего индикаторного давления, необходимого для трогания, получается в этом случае минимальным, и, как было установлено теоретическими расчётами, а позже опытными данными, – не больше расхода воздуха, потребного для обычного запуска дизелей.

Для подтверждения своих соображений Г. К. Хлебников в 1937 – 1940 гг. в Научно-исследовательском институте НКПС провел эксперименты над двухцилиндровым двухтактным двигателем, снабжённым спроектированной им переменной камерой сжатия, запальным устройством и верхним наддувом.

Г. К. Хлебников предложил и в экспериментах над опытным двигателем проверил три способа понижения давления вспышки при трогании с места:

– полное удаление из цилиндра воздуха, поступившего в него в период всасывания или продувки, и питание главного двигателя воздухом высокого давления, пригottenным компрессором, приводимым в действие от отдельного двигателя или из баллонов³²;

³² Начиная с момента трогания и во время разгона, в цилиндры главного двигателя впускается воздух с одновременной подачей и сжиганием в нём топлива.

– частичное удаление из цилиндров воздуха, поступившего в период всасывания или продувки, и питание двигателя воздухом высокого давления, приготовленным тем же способом;

– увеличение объёма камеры сжатия до размеров, обеспечивающих давление сжатия, при котором давление вспышки не превосходит нормально установленной для тягового двигателя внутреннего сгорания; увеличение воздушного заряда цилиндра нижним или верхним наддувом для получения необходимого среднего индикаторного давления.

Проверка всех трёх способов на экспериментальном двигателе показала, что создание теплового напряжения в камере сжатия в период работы двигателя при трогании и разгоне лучше обеспечивается при третьем способе.

В случае трогания и разгона без горения топлива работа трогания совершается целиком воздухом. При горении же топлива вследствие повышения температуры происходит увеличение объёма продуктов горения и поэтому расход воздуха на трогание уменьшается. Это было подтверждено данными экспериментов над опытным двигателем, результаты которых показали, что расход воздуха при работе двигателя на одном воздухе с повышенным индикаторным давлением увеличивается в сравнении с тем, которое потребовалось бы при горении топлива, в 10 ÷ 14 раз. Следовательно, мощность дополнительной установки при трогании с горением топлива в цилиндре может быть значительно уменьшена и должна составить примерно 1,5 – 2% мощности основного двигателя.

Так как наименьший расход наддувочного воздуха получился в двигателе с переменным объёмом камеры сжатия, то при нём должна получиться наименьшая ёмкость баллонов для наддувочного воздуха и наименьшая затрата энергии на его сжатие. Увеличение расхода наддувочного воздуха при работе с декомпрессией вызвано необходимостью возвращения в цилиндр части воздуха, удалённого в период декомпрессии, и ухудшением процесса горения. Последнее обстоятельство подтверждается резким уменьшением среднего индикаторного давления при пониженной частоте вращения.

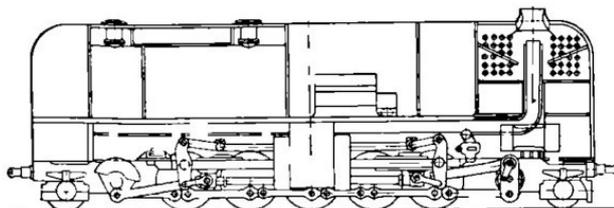
Опыты подтвердили, что тяговые качества двигателя внутреннего сгорания с переменной камерой сжатия эквивалентны тяговым качествам паровой машины паровоза. Наименьшая скорость, соответствующая большим отсечкам паровоза, вполне обеспечивается в тепловозе непосредственного действия с тяговым двигателем внутреннего сгорания.

На основании экспериментального материала, полученного при исследовании тягового двигателя с переменной камерой сжатия, был разработан технический проект тепловоза с непосредственным приводом.

При разработке проекта были использованы рама, ходовая часть и движущие части машины пассажирского теплопаровоза Ворошиловградского завода. Тяговый двигатель внутреннего сгорания с переменной камерой сжатия, противоположно движущимися поршнями и прямоточной продувкой должен был работать по двухтактному процессу при расширении газов только во внутренних полостях, внешние полости цилиндров используются для приготовления продувочного и наддувочного воздуха давлением до 3 атм. Усилия от действия газов передаются колёсам через отбойные валы. Для улучшения отвода тепла от поршней головки их заполнены маслом. Масло, воспринимая тепло от головки поршня, передаёт его через поршневые кольца цилиндровой втулке, охлаждаемой водой.

Главный двигатель тепловоза при трогании с места и разгоне поезда работает по принципу низкого сжатия с зажиганием топлива от электрического запальника. При этом клапаном с поршневым приводом открывается дополнительная камера, в которой расположены запальник и пусковая форсунка типа Аршаулова. Однако из-за ограниченных габаритов для подвижного состава затруднительно создать выгодную форму камеры. При увеличенной камере сжатия давление в конце сжатия равно 16,3 атм и расчётное давление вспышки – 36,5 атм. Среднее индикаторное давление, отнесённое ко всему ходу поршня, необходимое для обеспечения наи-

большей силы тяги в мощном тепловозе, достигает 13,5 атм. Этим определялась степень наддува, равная примерно 75 – 76%.



Проект тепловоза Хлебникова.

Таким образом, при добавлении 75% воздуха к основному воздуху, подаваемому в период продувки, будут обеспечиваться трогание и разгон состава до скорости 10 – 15 км/ч, при которой уже получается самовоспламенение топлива и нормальный рабочий процесс дизеля. При этом для получения достаточно высоких значений среднего индикаторного давления (до 12 атм) в проекте предусматривался наддув при давлении 1,5 атм. Чтобы получить большой крутящий момент в очень широком диапазоне изменения скоростного режима двигателя, необходимо хорошее распыливание топлива. Поэтому выбран топливный насос типа Ганц – Ендрасик, в котором нагнетательный ход плунжера происходит под действием пружины. Применение такого принципа обеспечивает одинаковое качество распыла при любой угловой скорости кулачкового валика топливного насоса, что проверено опытом эксплуатации аналогичных насосов на дизелях дизель-поезда.

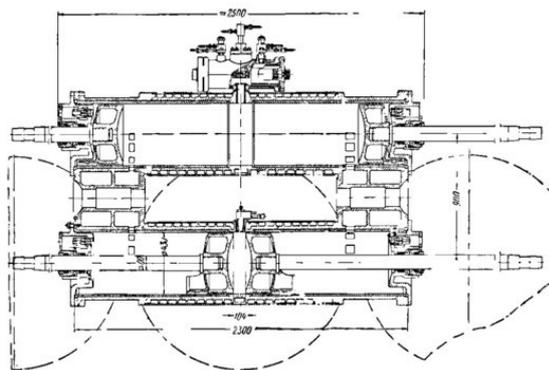
Диаметр движущих колёс тепловоза принят 1500 мм, наибольшая скорость 85 км/ч, двигатель – восьмицилиндровый с частотой вращения 400 об/мин, передаточное число шестерён между отбойным валом и валом двигателя 1,33, ход поршня 630 мм и диаметр цилиндра 535 мм.

При разгоне до скорости ~55 км/ч потребуется подавать в цилиндр добавочный воздух через наддувочный клапан. Ёмкость баллонов со сжатым воздухом давлением 150 атм, требуемым для наддува, с учётом неиспользованного объёма воздуха должна быть равна 1,6 м³.

Г. К. Хлебников считал, что при наличии пусковых баллонов, объём которых в 1,15 ÷ 3,4 раза превышает необходимый запас сжатого воздуха, требуемый для наддува, тепловозу непосредственного действия с главным двигателем, работающим по принципу увеличения камеры сжатия в период трогания, никакой дополнительной дизель-компрессорной установки не нужно. Однако на первом опытном тепловозе для обеспечения независимости его от депо и на случай выпуска воздуха по неопытности обслуживающего персонала планировалось поставить небольшой компрессор эффективной мощностью 50 ÷ 75 л.с. Для этого на раме тепловоза намечалось установить вспомогательный дизель-компрессор высокого давления с использованием дизеля типа 1Д12, в котором шесть цилиндров работают в качестве двигателя, а остальные шесть – в качестве компрессора, причём в четырёх цилиндрах воздух сжимается до 8 атм, а в двух до 70 атм.

Система управления тепловоза выполнена аналогично системе управления теплопаровозом Ворошиловградского завода типа 1—4—1 путём воздействия через кулачковый механизм на период открытия наддувочного клапана и на подачу топливных насосов. Золотниковый механизм используется для управления фазами распределения продувочным насосом в задних полостях рабочих цилиндров и для управления открытием наддувочных клапанов при трогании с места.

Проект тепловоза Г. К. Хлебникова и весь относящийся к нему материал – экспериментальные и расчётные данные и др. – был рассмотрен на ряде технических совещаний.



Главный двигатель тепловоза Хлебникова.

Он получил благоприятные отзывы и заключения и был передан Ворошиловградскому заводу для разработки отдельных узлов, в частности переменной камеры сжатия. К сожалению, проект остался незавершённым.

Проект тепловоза Юровского. В 1933 г. Н. Н. Юровский предложил проект тепловоза, основная идея которого заключается в том, что часть цилиндров дизеля, расположенного на раме тепловоза, через балансиры связана с его осями, а остальные такой связи не имеют и только подают воздух в ресивер. Кривошипы движущих колёс насажены под углом 90° .

Наибольший интерес в этом проекте представляет схема двигателя. В цилиндре двухтактного дизеля воздух сжимается до 45 атм, причём 50% сжатого до такого давления воздуха через выпускной клапан дизеля выталкивается в ресивер, другая же часть заряда остаётся в цилиндре, благодаря чему после закрытия выпускного клапана дизеля и подачи топлива в цилиндре происходит воспламенение и начинается рабочий ход. В конце рабочего хода газы удаляются продувочным воздухом, и цилиндр вновь получает зарядку, цикл повторяется.

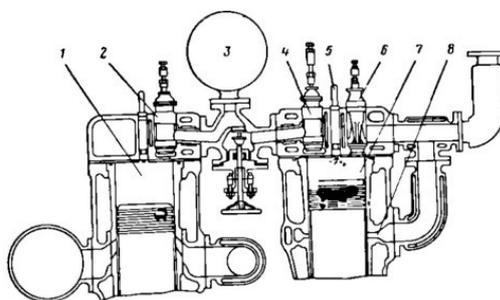


Схема двигателя Юровского.

1 – цилиндр дизеля; 2, 6 – выпускные клапаны; 3 – ресивер; 4 – впускной клапан; 5 – форсунка; 7 – тяговый цилиндр; 8 – выпускные окна.

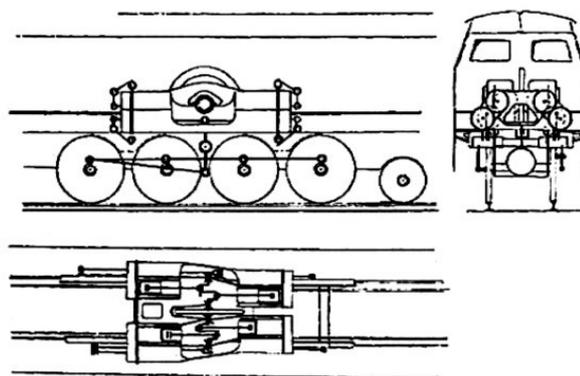


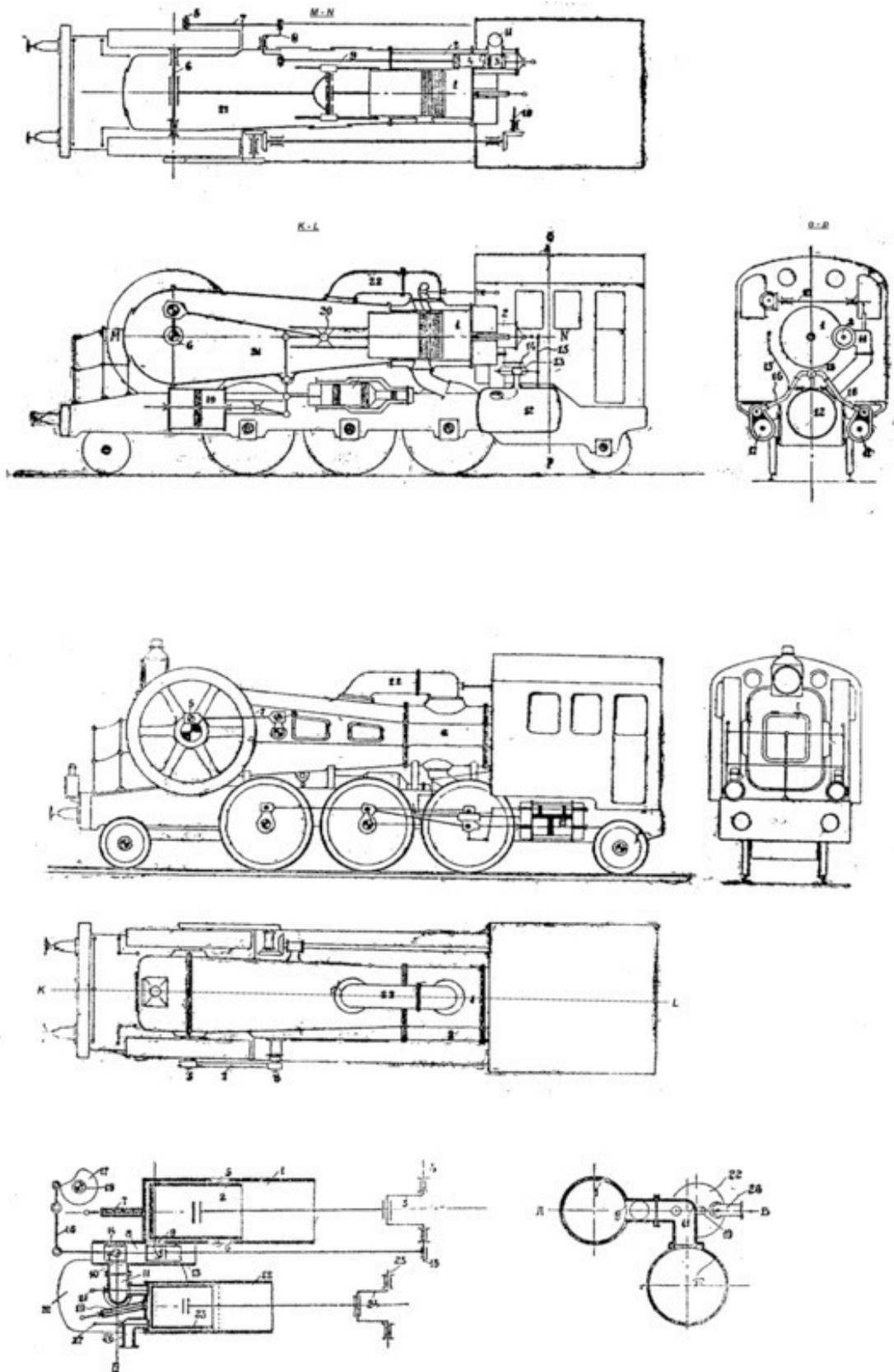
Схема тепловоза Юровского. Из книги П. В. Якобсона «Тепловоз».

Сжатый горячий воздух поступает в ресивер, а оттуда, через впускной клапан, – в тяговые цилиндры, поршни которых связаны с осями тепловоза, после чего через форсунку туда подаётся топливо, происходит вспышка, начинается рабочий ход и, следовательно, движение тепловоза. После расширения продукты сгорания удаляются сначала через выпускные окна (свободный выпуск), а затем (после закрытия окон) через выпускные клапаны тяговых цилиндров. Такой способ выпуска облегчает работу выпускного клапана, так как через него проходят газы уже пониженной температуры и плотности. Остаток продуктов горения подвергается некоторому сжатию, и затем цикл протекает в том же порядке. Впускной клапан и форсунка управляются особым механизмом, позволяющим изменять степени наполнения и соответственно этому количественную подачу топлива так, чтобы сгорание происходило при постоянном избытке воздуха.

При постоянной частоте вращения вала двигателя и подаче воздуха из цилиндра дизеля степень наполнения тягового цилиндра воздухом, а также и объём газов в конце горения будут изменяться обратно пропорционально скорости тепловоза, т. е. получается тяговая характеристика, аналогичная паровозной.

Весьма интересную идею Н. Н. Юровского намечалось подвергнуть опытной проверке в части клапана для отбора сжатого воздуха, после чего можно было бы произвести практическую оценку предложенной схемы путём изготовления опытного образца тепловоза. Эти работы не были выполнены.

Проект тепловоза Майзеля. Наличие дизель-компрессоров с коленчатым валом практически сводило на нет преимущества тепловоза с непосредственным приводом из-за того, что вспомогательная установка получалась сложной и дорогой. Одной из попыток обойти это затруднение является предложение Л. М. Майзеля.



Тепловоз Юровского. Чертежи к авторскому свидетельству №28080.

Двигатель снабжён цилиндром 1, работающим с наддувом, и цилиндром 2 второй камеры сжатия с поршнем-клапаном 3 и отсечным поршнем 4. Движение последнему сообщается

от кривошипа 5, насаженного на маховике отбойного вала 6, шатуном через коленчатый кривошип 8. Радиус коленчатого кривошипа 8 больше радиуса кривошипа 5, вследствие чего вращение кривошипа 5 преобразуется в качательное движение кривошипа 8, а от этого последнего шатуном 9 передаётся отсечному поршню 4. Распределительный вал цилиндра 1 приводится в движение цепной и зубчатой передачей от отбойного вала 6. Газы второй камеры сгорания 11 поступают в ресивер 12 и из него, через регуляторную головку 13

с уравновешенным поршнем 14, управляемым регуляторным рычагом 15, направляются по газопроводам 16 для расходования во вторые цилиндры 17 двигателя. Кривошипная камера 21 цилиндра 1 используется, после соответствующих уплотнений в подшипниках и в точке качания балансира, в качестве продувочного резервуара. Продувочный воздух подаётся в неё продувочным насосом 19, приводимым в действие от крейцкопфа 20, и по воздухопроводу 22 поступает для продувки цилиндра 1. Для выведения поршня цилиндра 1 из мёртвых положений может служить цилиндр 2 второй камеры сжатия, поршень 4 которой связан с кривошипом 5, расположенным под прямым углом к главному кривошипу отбойного вала. Для улучшения технического эффекта двигателя (самый нижний чертёж) можно производить сжигание горючей жидкости в воздухе второй

камеры сжатия, отводимом из цилиндра 1 двигателя, не в камере 11, а в цилиндре 22; для этой цели форсунка 19 устанавливается на цилиндре 22.

Тепловоз Майзеля состоит из главного двухтактного дизеля с противоположно движущимися поршнями, свободнопоршневого дизель-компрессора, продувочного насоса и ходовой части. Свободнопоршневой дизель-компрессор предназначен для подачи воздуха в тяговую машину при трогании и разгоне тепловоза до момента появления вспышки в главном двигателе, а также для верхнего наддува главного двигателя при больших нагрузках и привода вспомогательных агрегатов. На тепловозе предполагалось установить два одинаковых свободнопоршневых дизель-компрессора общей производительностью 78 м³/мин.

Поршневая группа дизель-компрессора состоит из трёх соединённых в одно целое поршней: дизельного и двух компрессорных (I и II ступеней). Движение системы поршней происходит в результате сгорания топлива в дизельном цилиндре. Цилиндр ступени компрессора работает как продувочный насос дизельного цилиндра. Свободнопоршневой дизель-компрессор пускается сжатым до 22 атм воздухом из баллонов объёмом 400 л.

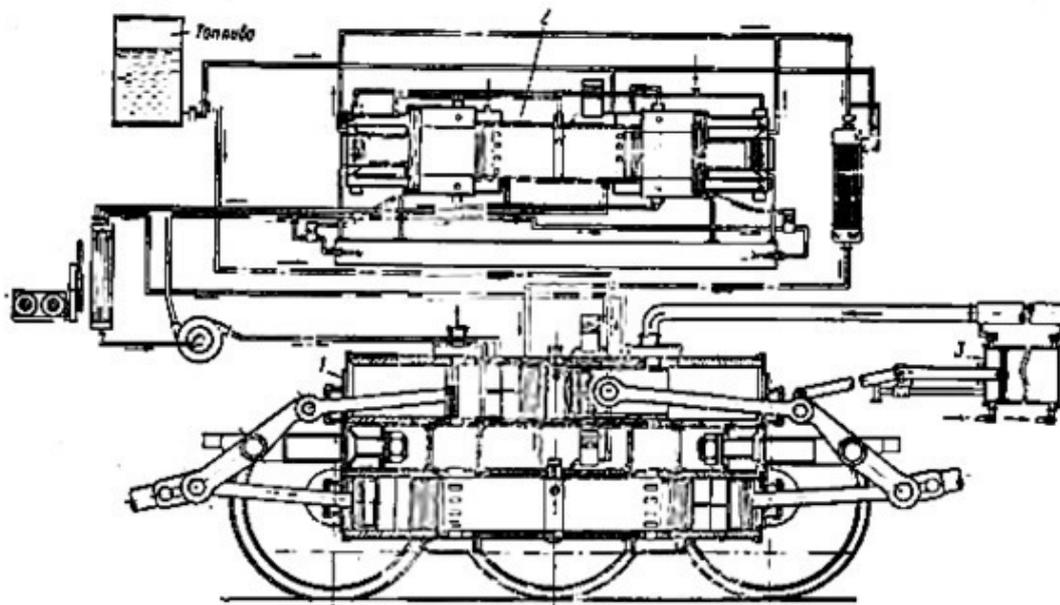


Схема тепловоза Майзеля.

1 – главный дизель; 2 – свободнопоршневой дизель-компрессор; 3 – продувочный насос.

Цилиндры главного двигателя расположены горизонтально по два с каждой стороны тепловоза, один над другим. Усилия от поршней передаются через шатун и систему дышел на отбойные валы. Двигатель имеет два вида питания: сжатым воздухом от дизель-компрессора и жидким топливом. Питание сжатым воздухом осуществляется через специальный воздушный клапан. Жидкое топливо подаётся в цилиндры газовым толкателем. Поршень толкателя, на который давят газы из камеры сжатия двигателя, связан с плунжером, подающим топливо в цилиндр. Давление топлива во столько раз больше давления газов, во сколько раз площадь плунжера меньше площади поршня толкателя.

Применение газовых толкателей гарантирует автоматическое регулирование угла опережения впрыска топлива в зависимости от частоты вращения за счёт изменения показателя политропы сжатия в цилиндре двигателя. Однако газовые толкатели недостаточно устойчивы в работе вследствие загорания уплотнительных колец поршней.

Работа тепловоза протекает следующим образом. Вначале сжатым воздухом из баллонов пускается дизель-компрессор, который через подогреватель подаёт воздух в главный ресивер. Форсунка подогревателя включается сразу же после получения первых порций сжатого воздуха; температура подогрева регулируется изменением подачи топлива. Давление в главном ресивере контролируется по манометру, установленному на щите машиниста. Когда оно достигнет 20 – 21 атм, тепловоз может быть приведён в движение.

Для этого машинист устанавливает реверс и открывает воздушный регулятор; воздух через воздушные клапаны поступает в цилиндры главного двигателя и разводит поршни, которые через шатуны, качалки, дышла и отбойный вал передают движение спарникам колёс тепловоза. Разгон поезда массой 1700 т на подъёме 5‰ обеспечивается до скорости 12 км/ч, когда происходит вспышка в цилиндрах и начинает работать главный дизель. Для подачи топлива к главному дизелю переводят дизельный регулятор в соответствующее положение. При этом в работу включаются газовые толкатели, которые подают топливо в цилиндры при нахождении поршней вблизи внутренней мёртвой точки. После того как в цилиндре произойдет вспышка топлива, при помощи воздушного клапана осуществляется переход на работу двигателя с наддувом. Продувочные насосы, связанные с движущимися частями главного двигателя, включаются дизельным регулятором. Они подают продувочный воздух только тогда, когда главный двигатель работает на топливе, в других случаях они работают вхолостую.

При движении тепловоза под уклон при помощи регулятора продувочный воздух направляется в атмосферу, и подача топлива прекращается.

Проект тепловоза Майзеля был подробно рассмотрен на техническом совещании при тепловозном отделении ЦНИИ МПС³³ 22 марта 1945 г., а затем на НТС МПС³⁴ и было принято решение выдать заказ Ворошиловградскому заводу на разработку отдельных узлов этого тепловоза.

Однако в последующем ни опытная проверка узлов, ни постройка опытного образца не были осуществлены. Главной причиной было то, что в этот период не имелось ещё отработанной конструкции свободнопоршневого компрессора.

За границей до второй мировой войны было построено несколько тепловозов с непосредственным приводом, которые всё же имели много существенных конструктивных и эксплуатационных недостатков, которые в полной мере преодолеть не удалось. Главным и наи-

³³ Центральный научно-исследовательский институт Министерства путей сообщения, ныне Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта.

³⁴ Научно-технический совет Министерства путей сообщения.

более принципиальным из них оставалось очень большое несоответствие между фактической и требуемой условиями эксплуатации тяговыми характеристиками. У тепловозов с непосредственным приводом сила тяги оставалась примерно постоянной во всем диапазоне изменения скоростей, так как вращающий момент на валу дизеля слабо меняется с изменением частоты вращения. Даже введение повышенного наддува при малой частоте вращения коленчатого вала не позволяло осуществлять необходимую величину коэффициента приспособляемости. Это приводило к недостаточной силе тяги при трогании тепловоза с места и разгоне и избыточной при больших скоростях (недоиспользование двигателя).

Тепловоз с непосредственным приводом обладает самым высоким коэффициентом полезного действия благодаря отсутствию промежуточного энергетического звена – передачи. Однако это его положительное свойство реализуется только в зоне средних и высоких скоростей. Трогание, разгон, движение поездов по руководящему уклону, в общем, работа в зоне низких скоростей требуют наличия дополнительных устройств, не только усложняющих конструкцию тепловоза, но и значительно снижающих его коэффициент полезного действия. В силу этого эксплуатационный к. п. д. тепловоза с непосредственным приводом, как правило, оказывается ниже, чем к. п. д. тепловоза с электрической передачей, который сравнительно мало меняется с изменением скорости.

Особенно заметна разница между теоретически возможным и реализуемым на практике коэффициентом полезного действия тепловоза с непосредственным приводом в условиях грузового движения на однопутных железных дорогах с относительно высоким грузопотоком, пригородного движения, при маневровой работе, т. е. в тех случаях, когда неизбежны частые остановки.

При наличии вспомогательной силовой установки тепловозы с непосредственным приводом в отношении стоимости и веса также уступают тепловозам с другими видами передач.

Есть ещё одна особенность двигателя Дизеля, затрудняющая его работу прямо на ведущую ось, как паровой машины паровоза, это – чрезмерные усилия на кривошипный механизм. При одинаковой индикаторной силе тяги усилия на шатун двухтактного двигателя двойного действия в 3,2 раза, а давление на направляющую в три раза больше, чем у паровоза. Установка такой движущей машины прямо на ведущие колёса локомотива представляет известные затруднения.

Ввиду множества недостатков тепловозы с непосредственным приводом до сих пор не нашли практического применения, а те, что были построены, имеют только исторический интерес.

Путём целесообразного размещения на тепловозе цилиндров двигателя непосредственного действия можно добиться допустимых величин реакции колеса под действием двигателя. Динамическое воздействие на колесо двигателя внутреннего сгорания соответствующим расположением его цилиндров может быть доведено до пределов, допускаемых на паровозе и даже много меньших. При восьмицилиндровой машине, расположенной по четыре цилиндра с каждого конца локомотива, внутренние цилиндры которой работают на крайние оси, а наружные – на средние, вертикальная реакция колёс будет уже совсем мала, не выше 2000 кгс.

Создать тепловоз, имеющий прямую связь дизеля с колёсами – задача чрезвычайно трудная. Для её решения, по-видимому, требуется создание специального двигателя внутреннего сгорания, который развивал бы необходимый вращающий момент при трогании тепловоза с места, без всяких затруднений, с достаточным для разгона ускорением, и рабочий процесс которого допускал бы регулирование крутящего момента в широком диапазоне скоростей.

2.2. Тепловоз «Термо» Общества Diesel-Klose-Sulzer GmbH

Первый экспериментальный тепловоз «Термо» для работы на магистральных линиях был разработан Адольфом Клозе под руководством Рудольфа Дизеля. В 1906 г. Р. Дизель, стремясь к внедрению своего мотора на железных дорогах, являющихся новой областью его применения, совместно с инженером путей сообщения А. Клозе из берлинского района Халензее и фирмой «Братья Зульцер» в Винтертуре (Швейцария) основал Общество термолocomотивов Diesel-Klose-Sulzer GmbH.

Это общество ставило себе задачей разрабатывать проекты и предложения по тепловозам и представлять их железнодорожным управлениям, чтобы получить возможность скорейшего осуществления надёжного в эксплуатации тепловоза посредством конкретного заказа. Королевскому Прусскому железнодорожному управлению³⁵ был предложен проект тепловоза типа 2—2—2 с непосредственным приводом. Лocomотив должен был везти главной машиной на площадке скорый поезд массой 200 т со скоростью 90 км/ч, а при дополнительном питании сжатым воздухом от компрессора, приводимого вспомогательным дизелем, — поезд той же самой массы на подъёме 10 ‰ со скоростью не менее 50 км/ч.

Быстроходный паровоз «Термо» системы Дизеля.

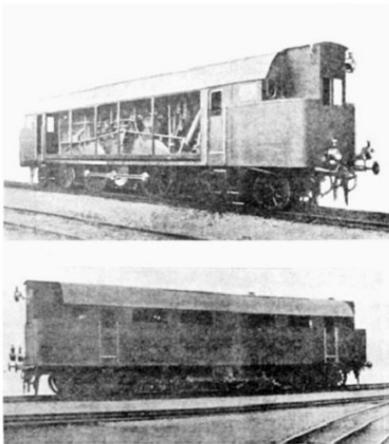
Вопрос о паровозе системы Дизеля разрабатывается уже несколько лет. Большой успех двигателя Дизеля не сулит успеха на железнодорожном его техническом и экономическом преимуществе для железнодорожного дѣла. Еще в 1902 году, по указанию журнала «Николог», Горбей-Андрей разработал двигатель, работающий на нефти специально предназначенный для паровоза, но проект не был осуществлен. Только после появления двигателя Дизеля, и особенно в настоящее время вид, оказалось возможным применить этой системы в железнодорожном дѣле, требующем особенной надежности и простоты в работе двигателя. Вследствие благоприятных результатов вагон-мотора, и в сравнительно

недавнее время они введены на Квинслендской железнодорожной дороге в Австралии. Двигатель, после пробных поездок с различными паровозами, построенными специально для испытаний быстроходных паровозов с железнодорожниками на большой протяженности Винтертур—Базель—Франкфурт—Берлин и был предан в эксплуатацию. В настоящее время он предназначен для службы на линии Берлин—Потсдам—Магдебург. Этот «термо-паровоз» проектировал и изготовил швейцарский конструктор Адольф Клозе. Двигатель паровоза, был построен фирмой

1 января 1908 года в 1908 году.

Берлин, а мотор выполнен фирмой Зульцер в Винтертур-Баденштадт. Паровоз, при соответствующей нагрузке, развивает скорость до 100 км/ч. Он имеет шесть осей, из которых две ведущие, остальные четыре несущие оси являются осями тележек. Так как повышается по длине паровоза, и над каждой из них устроено повышение для машины, являющегося под рукою тормоза и все приспособления для пуска в ход паровоза и его управления. Это устройство двух повышений для

формы, но основанием для этого послужили главные образцы для сооружения: во-первых, на опыт оказывается, что они в воздухе стивались быстрее, чтобы и предотвратить собою дубовые механизмы; во-вторых, для двигателя требуется сжатый воздух, и для этого под паровозом устроен особый компрессоромеханизм в виде боковой отворстной малой проволочной сетки. Восприятие горячего воздуха значительно облегчается применением отворстной сетки стивов паровоза.



назначения иметь в виду, что при передвижении паровоза движение не требуется поворачивания паровоза при помощи поворотного круга, восточная паровоза и сближения. Несколько странным представляется, что линия стивов паровоза не предназначена для быстроходных паровозов каменноугольного

Механическая часть паровоза состоит из двух двигателей Дизеля. Один из них является фактически приводящим в движение паровоз и состоит из четырех цилиндров. Он соединяется с ведущими осями посредством глухой оси. Второй двигатель работает совершенно независимо от первого и служит для доставки сжатого воздуха, предназначенного для пуска в ход паровоза. С этой целью сжатый воздух поступает в главный двигатель, который и работает, как пневматическая машина. При маневрах, сближении вагонов и пр., когда требуется пробывать лишь небольшие расстояния, можно пользоваться с успехом тѣм же сжатым воздухом для двигателей. При боье же продолжительных пробывах движение производится лишь до того момента, когда достигнута соответствующая скорость главного двигателя. Тогда движение переводится на дисковую систему, и начинается работа дизель-мотора. Дальнейшее при-

менение сжатого воздуха заключается в том, что при усложнении вращающегося диска служит для увеличения работы дизель-мотора. За результатами работы этого паровоза следуют с особенным интересом. Если они окажутся такими же успешными и при производстве громадных перевозок в железнодорожном дѣле.

10. Статья о тепловозе «Термо». Журнал «Железнодорожное дѣло», 1914 г., №9—

После тщательной проверки проекта KPEV выдало 16 апреля 1909 г. исторический заказ на строительство первого в мире тепловоза большой мощности для прусских казённых желез-

³⁵ Königlich Preußischen Eisenbahn-Verwaltung (KPEV).

ных дорог. По предложению Р. Дизеля совместную постройку опытного образца локомотива взяли на себя компании Sulzer и Borsig. Фирма Sulzer делала уже несколько лет реверсивные судовые дизельные двигатели и поставляла оборудование. Заводом Borsig (Берлин-Тегель), являющимся дочерним предприятием фирмы Sulzer, была выполнена механическая часть локомотива по проекту А. Клозе.

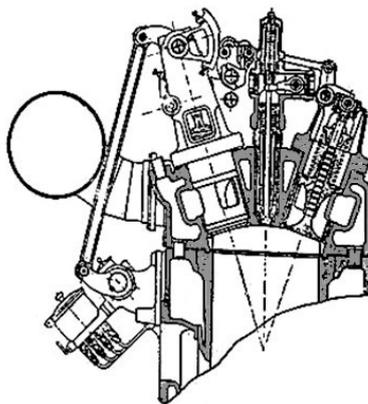
Для того чтобы вытеснить с рельсов паровоз, заменить дизель-мотором старую, испытанную паровую машину, дизель-мотор должен был обладать множеством новых качеств, необязательных для стационарных установок, но совершенно необходимых всякой транспортной машине. И вот над решением этой трудной задачи стал работать сам изобретатель двигателя. Владелец завода «Братья Зульцер» с участием Р. Дизеля и инженера А. Клозе посредством организованного ими Общества термолокомотивов занимались осуществлением проекта с 1906 по 1912 г. Столь длительный срок разработки был вызван тем, что авторы проекта попытались создать локомотив непосредственного действия, а это требовало создания нового, нестандартного двигателя.

Пассажирский тепловоз типа 2—2—2 был построен к сентябрю 1912 г. Рама выполнена в виде ящика из металлических листов толщиной 22,5 мм, стальной литой корпус дизельного двигателя крепился посередине, обеспечивая поперечную жёсткость рамы. Ещё рама стягивалась поперечными балками, выполненными из металлических листов и профилей, в которых имелись отверстия для шкворней тележки и отверстия для привинчивания буферных тяг.

Поперёк рамы тепловоза был установлен главный двигатель — четырёхцилиндровый V-образный реверсивный двухтактный дизель фирмы Sulzer простого действия с клапанно-щелевой продувкой, производимой с помощью продувочных насосов. При его создании учитывался опыт постройки реверсивных двухтактных судовых дизельных двигателей одностороннего действия, показавших положительные результаты в эксплуатации. Несомненная простота конструкции двухтактного двигателя послужила причиной постановки такого дизеля на этот первый мощный тепловоз. Развал цилиндров составлял 90°. Поршни посредством шатунов приводили во вращение двукратно согнутый коленчатый вал дизеля, который одновременно являлся отбойным валом тепловоза, связанным посредством дышловой передачи с двумя движущими спаренными осями колёсных пар. Два внутренних кривошипа вала были расположены под углом 180°. Два пальца наружных кривошипов, размещённые по концам отбойного вала, соединялись спарниками с кривошипами движущих осей, имеющих колёса диаметром 1750 мм. Каждая пара цилиндров действовала на одно колено отбойного вала. Диаметр цилиндров 380 мм, ход поршня 550 мм. Поршни цилиндров охлаждались маслом при помощи установленных масляных насосов, которых, ввиду значительной ответственности их работы на тепловозе, имелось два комплекта.

Особенностью рабочего процесса этого двигателя являлось применение в нём высоких давлений распыливающего воздуха, благодаря чему было возможно сжигать топливо при меньших, чем у обычных двигателей, коэффициентах избытка воздуха. Вместе с тем это повышенное давление распыливания повышало и весовой заряд распыливающего воздуха. При этих условиях повышалось и количество сжигаемого в цилиндре топлива, и среднее индикаторное давление, доходившее в опытах с этим локомотивом до 12 атм.

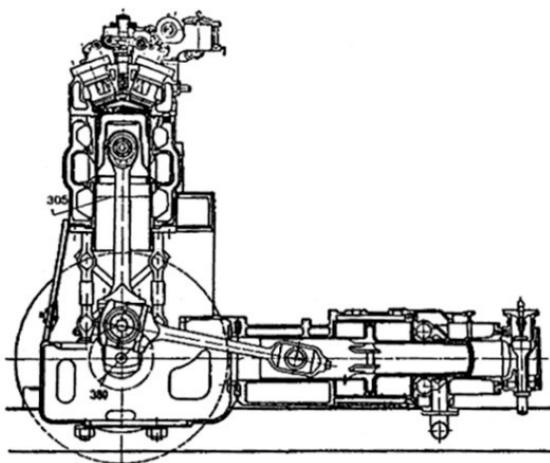
Действие пусковых, всасывающих, продувочных, а также топливных клапанов осуществлялось при помощи привода от находившегося на коленчатом валу и вращавшегося эксцентрика. В данном случае так же, как и у паровоза, изменение наполнения и смена направления движения достигались при помощи эксцентрика, перестановка которого производилась при помощи тяг с постов управления тепловозом.



Часть конструкции цилиндра дизеля с крышкой тепловоза «Термо».

Для подачи зарядного и продувочного воздуха между цилиндрами двигателя были установлены два поршневых насоса двойного действия. Для распыливания же топлива рядом с ними находился трёхступенчатый компрессор. Привод всех этих агрегатов осуществлялся при помощи рычажной передачи от шатунов двух передних цилиндров. Вполне понятно, что все эти воздушные насосы могли работать только на ходу тепловоза.

Кузов тепловоза сделан из профилей и листовой стали без перегородок, внутри него между торцевыми кабинами машиниста шириной примерно 1300 мм, помещено машинное отделение. В машинном отделении кроме главного дизельного двигателя для непосредственного привода движущих осей размещены вспомогательный дизельный двигатель с воздушным компрессором, баллонами пускового сжатого воздуха и другие вспомогательные устройства, такие как насосы и т. д.



Дизель-компрессор тепловоза «Термо».

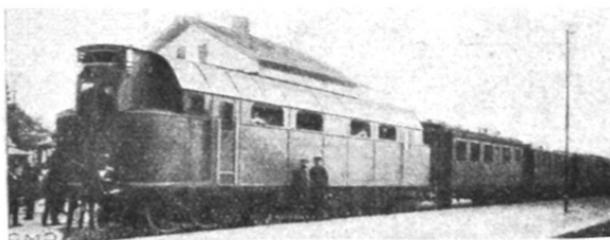
Топливный бак и три бака с охлаждающей водой расположены по углам в нижней части тепловоза рядом с кабинами машиниста. Двери торцевых стенок предназначены для перехода в состав пассажирского поезда. Две спаренные колёсные пары снабжены противовесами для уравнивания возвратно-поступательных масс привода. Под колёсными парами размещены листовые рессоры с дополнительной подвеской на двойных спиральных пружинах. Двухосные тележки – поворотные, с диаметром колёс поддерживающих осей 1000 мм. Кузов и рама поддерживались скользящими пластинами на низколежащих, подобно люлькам, листовых рессорах в поворотной тележке, препятствующих боковому смещению.

Тепловоз оборудован пневматической песочницей и пневматическим тормозом Вестингауза одностороннего действия на все спаренные и бегунковые колёса. Также имелся ручной тормоз, используемый как стояночный, который приводился в действие на обе спаренные колёсные пары коленчатым рычагом. Котёл отопления вагонов пассажирского поезда, работающий на нефти, размещён в машинном отделении.

Масса локомотива составляла 95 т, из которых на сцепные оси приходилось 35 т. Оригинальным в конструкции тепловоза являлось то, что на больших скоростях движения вспомогательный дизель обеспечивал наддув главного.

Трогание с места и разгон тепловоза осуществлялись за счёт энергии сжатого воздуха из пусковых воздушных резервуаров и двухцилиндрового трёхступенчатого поршневого компрессора³⁶, выпускаемого рычагами и клапанами управления в цилиндры главного двигателя до тех пор, пока тот не приобретёт достаточную частоту вращения, чтобы работать как дизель.

Поршни компрессора соединялись при помощи шатунов с коленчатым валом, являющимся общим также и для вспомогательного двухтактного двухцилиндрового дизеля простого действия мощностью 250 л.с., который работал автономно и вращал компрессор. Дизель и компрессор размещены в одном корпусе. Цилиндры дизеля расположены вертикально. Диаметр цилиндров составляет 305 мм, ход поршня 380 мм. Цилиндры компрессора расположены горизонтально. Диапазон изменения частоты вращения двигателя составлял 200 ÷ 350 об/мин. Компрессор подавал в запасные баллоны воздух для приведения в движение главного двигателя, а вместе с ним и тепловоза. Таким образом, для разгона локомотива и начала работы дизелей нужно иметь вспомогательную группу достаточной производительности.



Тепловоз «Термо» с поездом. 1913 г. Фото из книг К. Дмоховского.

У локомотива стоят братья Зульцер.

Процесс пуска главного дизельного двигателя под нагрузкой до скорости 8 – 10 км/ч производился только на сжатом воздухе, который распределялся по отдельным цилиндрам специальным переключателем. По достижении этой скорости движения в цилиндры впрыскивалось топливо и происходило его самовоспламенение. Таким образом, зона работы дизельного двигателя с процессом горения находилась примерно в диапазоне от 30 об/мин, что соответствовало скорости 10 км/ч, до 304 об/мин при скорости 100 км/ч. В этой области двигатель работал с незначительным наддувом при давлении 1,4 атм.

Кроме разгона тепловоза, дизель-компрессор предназначался также и для некоторого увеличения мощности главного дизеля на наиболее трудных участках пути. С помощью особого устройства в цилиндры главного дизеля во время расширения вводилось ещё некоторое количество воздуха, благодаря чему индикаторные диаграммы получались полнее. Это увеличивало силу тяги тепловоза на крутых подъёмах. С учётом добавочного воздуха и некоторой

³⁶ Для подачи необходимого количества воздуха первоначально предполагалось обслуживать двигатель несколькими поставленными на тепловоз резервуарами со сжатым воздухом. Однако при испытании в 1911 г. выяснилось, что одна такая установка баллонов недостаточна и потому на тепловозе, кроме баллонов, был установлен дизель-компрессор.

перегрузки, достигаемой повышением среднего эффективного давления, главный двигатель мог развивать мощность до 1200 л.с³⁷. Продувочный воздух нагнетался двумя поршневыми насосами двойного действия, расположенными между дизельными цилиндрами, или подавался из баллонов сжатого воздуха. Воздух для распыливания топлива, подводимый к форсунке под давлением от 50 до 70 ати, нагнетался трёхступенчатым воздушным насосом, приводимым в действие толкателями, установленными на обоих передних рабочих цилиндрах дизельного двигателя, с помощью коромысел и тяг.

Ещё вспомогательным дизелем осуществлялись маневровые передвижения тепловоза, а также приводились в действие насосы охлаждающей воды, смазочного масла и подачи топлива. Предварительная смазка подшипников главной машины перед троганием с места осуществлялась посредством ручного насоса из кабины машиниста.

Управление локомотивом могло осуществляться из обеих кабин машиниста. При трогании с места и разгона до скорости 10 км/ч применялся пусковой дроссель, регулирующий давление сжатого воздуха, поступающего в цилиндры дизельного двигателя. При достижении скорости 10 км/ч обеспечивалась устойчивая вспышка топлива в цилиндрах, и дизель переводился на работу с топливом.

При езде со скоростью от 10 до 100 км/ч подача топлива и сжатого воздуха осуществлялась в зависимости от необходимой мощности и скорости. Скорость регулировалась увеличением или уменьшением подачи нефти. Изменение направления движения выполнялось переменной направления вращения дизеля путём применения механизма для реверса, обычного для реверсивного двигателя.

Наблюдение за режимом в пути следования осуществлялось по приборам, показывающим температуру дизеля, давление сжатого воздуха в баллонах, давление сжатого воздуха в тормозной системе, давление смазочного масла, частоту вращения дизеля и другие параметры. Скорость движения поезда регистрировалась скоростемером.

После окончания постройки в сентябре 1912 г. тепловоз «Термо» подвергли первым испытаниям в Стреккене – ближайшей окрестности Винтертура. При этом кроме некоторых других недостатков выявилось, что охлаждающее устройство спроектировано неправильно. Во время ведения скорого поезда цилиндры мотора настолько нагревались, что локомотив останавливался на подъёмах. Запас воды должен был пополняться при выбранной конструкции холодильника уже после 70 км пути следования. Охлаждение дизеля до модернизации состояло из трёх контейнеров с охлаждающей водой, которая во время движения после нагревания в камерах и каналах охлаждения дизельного двигателя сливалась прямо на путь. Затем фирма Sulzer установила дополнительный холодильник. После модернизации охлаждающее устройство тепловоза для охлаждения цилиндров как главного, так и вспомогательного двигателя состояло из трубчатого холодильника и испарительного холодильника с переменным орошением, расположенным над кабиной машиниста. Из водяных баков, расположенных по концам тепловоза, вода при помощи насосов прогонялась через рубашки цилиндров и шла сначала в сотовые холодильники, находившиеся у постов машиниста, а затем через выключаемые испарительные холодильники попадала обратно в водяные баки.

После этой модернизации в марте 1913 г. были возобновлены эксперименты на участке Винтертур – Романсхорн длиной 35 км, которые дали как будто даже хорошие результаты. После подтверждения достаточной надёжности работы Дирекция прусских железных дорог взяла тепловоз для опытной эксплуатации на линии Берлин – Мансфельд. В период с 31 марта по 4 апреля 1913 г. локомотив был передан из Винтертура через Базель, Страсбург, Людвигсхафен, Вормс, Ханау и Нордхаузен в Берлин-Грюнвальд. На участках Базель – Страсбург и Людвигсхафен – Вормс тепловоз прицепляли к полносоставному поезду. Время от времени

³⁷ При максимальной частоте вращения.

он тянул весь поезд, включая паровоз, и достигал при этом скорости не менее 70 км/ч. Во время этой передаточной поездки скорость движения в соответствии с установленным расписанием находилась в пределах между 20 и 100 км/ч.

Люди, озадаченные внешним видом локомотива, главным образом отсутствием у него котла и трубы, считали поездку небезопасной. Конечно, не было ни флагов, ни оркестров, и на пути вдоль линии попадались только путевые сторожа, с недоумением встречавшие и проважавшие странный локомотив.

Первоначально КРЕV имело к тепловозу очень большой интерес, так как представлялось заманчивым заменить при случае паровозы на Берлинской окружной железной дороге и пригородной железной дороге на тепловозы. От этих планов отказались, когда была предусмотрена электрификация городской железной дороги Берлина.

Настоящие опытные поездки с использованием измерительного оборудования начались летом 1913 г. в берлинском Грюнвальде. Однако прямо к началу испытаний сломалась полусось, и опыты пришлось прервать по этой причине на шесть месяцев.

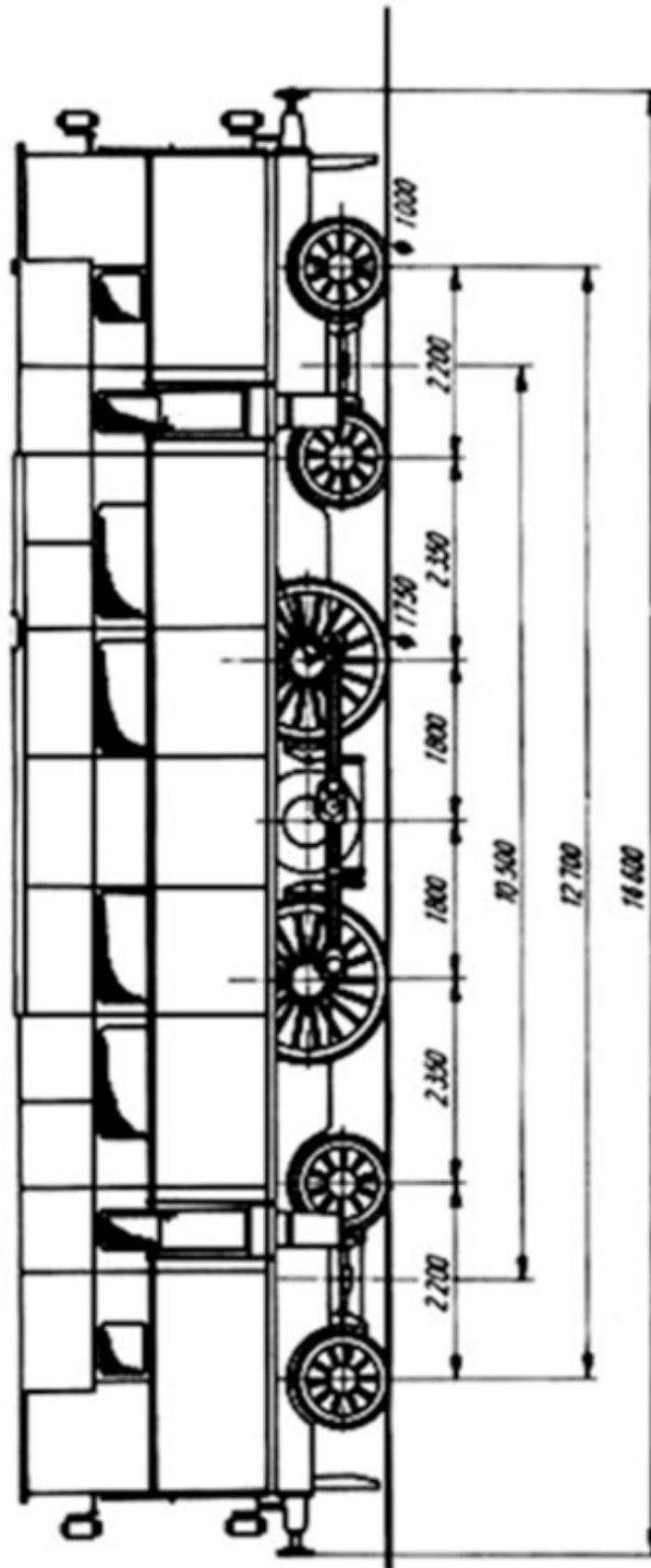
Эксплуатационные испытания выявили ряд существенных недостатков, которые являлись следствием свойств дизельного двигателя: мощность дизеля при неизменной подаче топлива почти прямо пропорциональна частоте вращения его вала. В отличие от паровой машины, дизель не способен работать при малых частотах вращения вала, когда при медленном осуществлении процесса сжатия воздуха в цилиндре не может быть достигнута температура, необходимая для самовоспламенения топлива.

По этой причине непосредственная механическая связь двигателя с движущими осями делала этот тепловоз совершенно непригодным к эксплуатации. При использовании с пассажирскими поездами пускового воздуха, вырабатываемого вспомогательной дизель-компрессорной установкой, не хватало для частого трогания с места, так что локомотив часто останавливался, до тех пор, пока вспомогательный дизель-компрессор снова не наполнял баллоны сжатого воздуха. Не хватало воздуха также для разгона на подъёмах. Из-за этого разгон поезда происходил очень медленно. Кроме того, сжатый воздух при своём расширении в цилиндрах двигателя охлаждал их. Выхлопные газы как главного, так и вспомогательного двигателя, направлялись в расположенный на крыше тепловоза глушитель, снабжённый для поглощения ударов сетками. Таким образом, тепло продуктов сгорания на тепловозе не использовалось, хотя оно могло быть применено для подогрева воздуха, шедшего от компрессора к главному двигателю, для повышения эффективности работы тепловоза. Это упущение было одной из главных причин слабой работоспособности тепловоза. Переохлаждение цилиндров главного дизеля неблагоприятно влияло на процесс трогания с места и затрудняло последующее воспламенение жидкого топлива, замедляя перевод двигателя на цикл Дизеля. Переход от пускового на нормальный режим работы двигателя приводил к резким температурным напряжениям в металле. Последующие затем вспышки и нагрев цилиндров вызывали, вследствие быстрого изменения температур цилиндров, большие местные напряжения, выход из строя деталей цилиндров и аварии последних. Из-за упомянутых выше температурных напряжений, которые оказались, в конце концов, губительными для двигателя, в одном из цилиндров образовалась трещина³⁸. Это случилось во время опытной поездки, проходившей со станции Берлин-Грюнвальд.

Вследствие введения в цилиндры двигателя холодного пускового воздуха вспышки топлива слишком запаздывали, и тепловоз должен был работать на чистом воздухе дольше, чем

³⁸ Одной из возможных причин выхода из строя цилиндра могло быть отсутствие каких-либо особых мер к охлаждению выпускных окон двигателя, которые имели только водяное внутреннее охлаждение при помощи узких каналов, проходящих через простенки окон главной рубашки цилиндра двигателя. При работе с повышенным средним индикаторным давлением и при небольших скоростях горения такого охлаждения, надо полагать, было недостаточно, и это вызвало чрезмерное термическое напряжение в стенках цилиндра, приведшее к образованию трещины.

предполагалось по расчёту. Это обстоятельство вызывало увеличенный расход воздуха, а следовательно, и топлива.



Основные размеры тепловоза «Термо». Из книги W. Glatte.

На следующем фото показаны продольный и поперечные разрезы и план тепловоза «Термо». Из книги В. И. Гриневецкого.

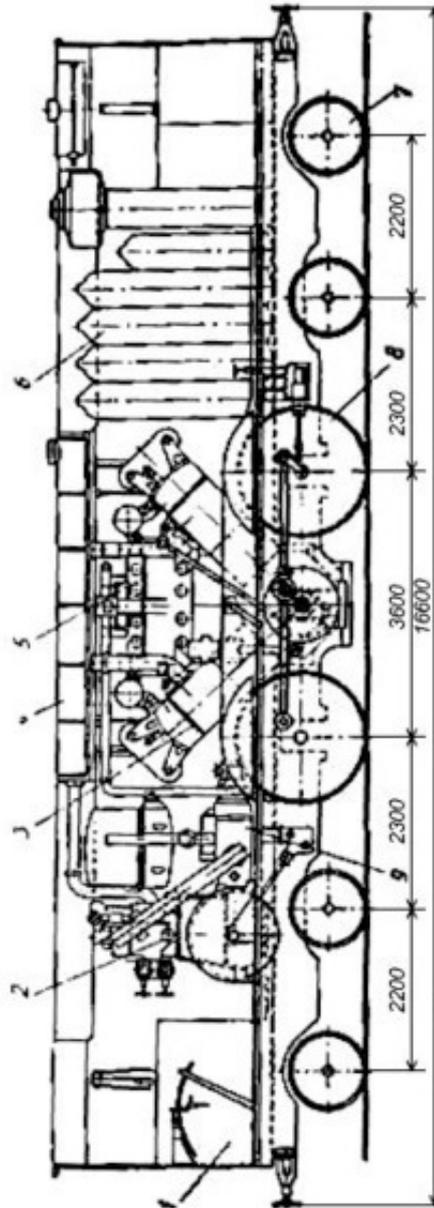
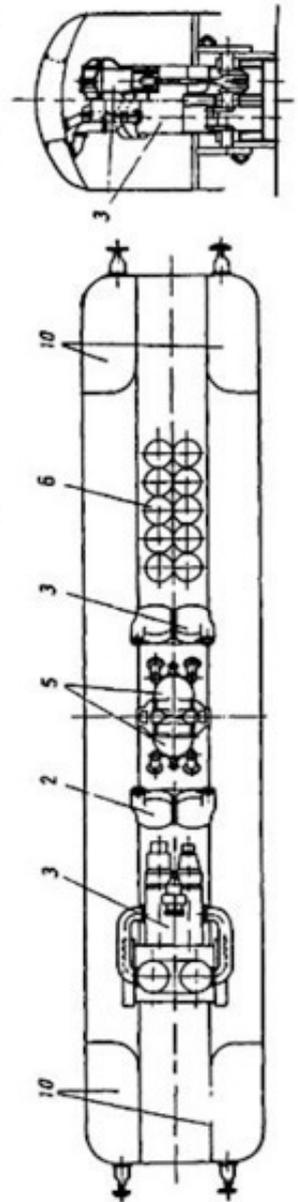
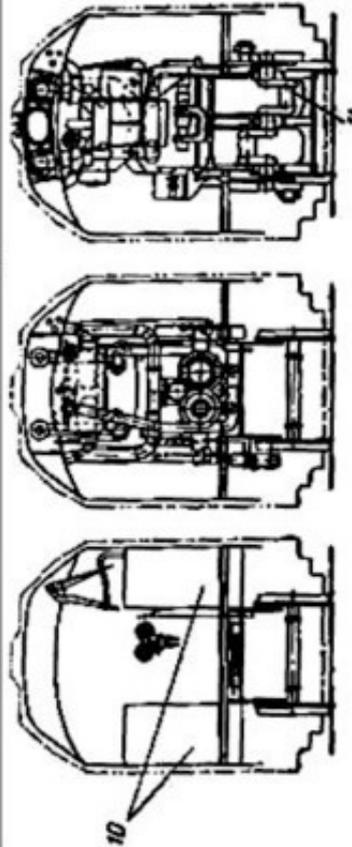


СХЕМА ТЕПЛОВОЗА 2-2-2 ЗУЛЬЦЕР
 с ДВУХТАКТНЫМ ДИЗЕЛЕМ ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ
 № 870 злс при V=100 Ф, E=2300 кг, Q=95 тн



И. И. Лосев	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Главный конструктор	Заведующий отделом	Инженер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер
Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер	Л. В. Зильбер

1 – пульт управления; 2 – вспомогательный двухтактный дизель; 3 – главный четырёхцилиндровый дизель; 4 – выхлопной патрубок; 5 – продувочные насосы; 6 – баллоны для пускового воздуха; 7 – поддерживающие оси; 8 – ведущие оси; 9 – компрессор; 10 – резервуары для воды и топлива; 11 – отбойный вал.

Из-за большого расхода воздуха при разгоне локомотива его максимальный коэффициент полезного действия был очень малым для тепловозов и в среднем составлял 13,5%.

Манёвры, даже при поездной службе, тепловоз выполнял с трудом; кроме замедленного разгона, получались задержки и при реверсировании двигателя.

Двигатель оказался недостаточно уравновешенным, и это при движении тепловоза не только неприятно отражалось на тепловозной бригаде, но и повлекло за собой излом отбойного вала. По условиям габарита двигатель тепловоза был построен с наибольшими допустимыми напряжениями, что тоже было причиной поломки вала. Нельзя одобрить и принятого неэластичного соединения вала двигателя с подвешенными на рессорах движущими осями.

Тяговая характеристика, основанная на опытных данных, в источниках не приводится, а расчётные значения, полученные разными авторами, в значительной степени отличаются друг от друга, поэтому достоверно судить о реализуемой в процессе испытаний силе тяги при тех или иных режимах работы тепловоза затруднительно.

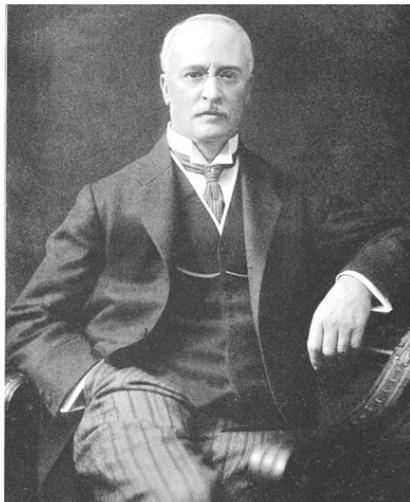
Соотношение между полным и сцепным весом, равное больше 2,7, указывает на значительный вес двигателя, потребовавший распределения его на большое количество осей. Надо при этом добавить, что тепловоз вышел с превышением веса против задания. В то время как были заданы нагрузки 15 тс на сцепную и 13 тс на поддерживающую оси, в действительности оказалось, что на сцепные оси пришлось по 17,5 тс, а на поддерживающие больше 15 тс.

Недостатки были принципиальными и неустраняемыми. В практической работе, на которую тепловоз был поставлен в Берлине, он не отвечал всем предъявленным к нему требованиям. Его мощность была пропорциональна скорости движения и, когда снижалась скорость (например, на крутых подъёмах), падала и мощность локомотива, в результате чего поезд мог остановиться. Это обусловлено тем, что у двигателей Дизеля мощность определяется количеством горючего и воздуха, нужного для горения, поэтому работа за один оборот зависит от размеров цилиндра, а мощность машины прямо пропорциональна частоте вращения. Так как тепловоз развивал мощность пропорционально скорости движения, он, естественно, не мог отвечать самому основному требованию, предъявляемому к тяговой машине, – давать наибольшую силу тяги при наименьшей скорости. Он был излишне силен при больших скоростях и недопустимо слаб при малых, то есть именно тогда, когда локомотиву нужна наибольшая сила тяги, – при трогании с места и на подъёмах. Поэтому работа тепловоза в пути носила неустойчивый характер, кроме того тепловоз был непригоден для частых остановок поезда в пути и ведению поезда по тяжёлому профилю из-за нехватки сжатого воздуха, употреблявшегося для трогания с места и разгона. По этой причине тепловоз оказался непригодным как к обычной пассажирской работе, так и к курьерской службе.

После нескольких опытных поездок в 1914 г., когда у двигателя тепловоза лопнул один из цилиндров, было решено опыты с тепловозом прекратить в виду выяснившейся непригодности самой конструкции тепловоза.

Железные дороги были последней областью, где дизель-мотор вступал в борьбу с паровой машиной. И мало кто сомневался в успехе тепловоза, преимущества которого заключались в его экономичности, малом расходе воды, сокращении пунктов водоснабжения, экономии времени на набор топлива, быстроте пуска в ход, отсутствии дыма. В местностях безводных или с плохой водой тепловозы могли иметь исключительное распространение. В воде тепловоз нуждался только для охлаждения цилиндров, причем её можно ведь охлаждать и затем вновь пускать в работу. Но именно здесь, в области, которая более всего нуждалась в замене паровой

машины и которая породила самую идею дизель-мотора, Рудольф Дизель и потерпел решительное поражение.



Рудольф Дизель.

Владельцы предприятий, строивших паровые двигатели, уже давно всячески преследовали изобретателя. Они развили бешеную кампанию против Рудольфа Дизеля и его моторов. В Германии, обладавшей огромными запасами угля и не имевшей в своём распоряжении нефтяных источников, эта кампания находила всемерную поддержку. При таком положении дела общественное мнение никак не реагировало на появление в Швейцарии первого тепловоза.

Рудольф Дизель, конечно, знал, что «там, где опыт кончается неудачей, часто начинается открытие». Но в это время изобретателю уже шёл пятьдесят шестой год, его преследовали головные боли, сердце слабело, а вокруг него царил невыносимая атмосфера злобы, насмешек и клеветы. В ночь с 29 на 30 сентября 1913 г. Р. Дизель бесследно исчез с парохода на пути из Бельгии в Англию.

Возникшие при испытаниях проблемы положили конец всем последующим опытам с тепловозом Рудольфа Дизеля, доработка тепловоза не была закончена. Из-за начавшейся в 1914 г. первой мировой войны тепловозостроение заглохло на несколько лет. А тепловоз «Термо», предоставленный самому себе, оказавшийся непригодным для поездной службы, к величайшему торжеству всех защитников паровых машин, позже был разделан в лом, так и не найдя применения в транспортной службе.

2.3. Тепловоз завода Ansaldo

Предубеждение против тепловозов с непосредственным приводом укрепилось после неудачной попытки создания тепловоза «Термо» в 1912 г. фирмами Sulzer и Borsig – двумя фирмами, представляющими большую известность, одна в области двигателей, другая в области локомотивов, – даже несмотря на то, что причины неудачи были известны.

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.