

Проф. В. А. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

---

# С О Б Р Е М Е Н Н Ы Е П А Р О В Ы Е А В Т О М О Б И Л И И Т Р А К Т О Р Ы

ОНТИ ★ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ★ ИИТД  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

Проф. В. А. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

# СОВРЕМЕННЫЕ ПАРОВЫЕ АВТОМОБИЛИ И ТРАКТОРЫ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ

1936

---

Типо - цинкография ДНТВУ.  
Харьков, Суздальск. ряды, 18/20.  
Уполномочен. Главлита № 5028.  
Зак. № 01364

---

Ответственный редактор *М. Я. Усач*  
Литредактор *Я. К. Каминский*  
Техоформление—*В. В. Бачинская*  
Корректор *В. Кемарская*

---

Тираж 3.000 14<sup>1</sup>/<sub>4</sub> печатн. листов. Сдано на производство 26/ХІІ 1935 г., подписано  
к печати 15/ІІІ 1936 г. В печатн. листе 51.000 зн. Бумага 62×94.  
Вес 1 метр. стопы 38 кг.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Прибытие в Москву американского легкового парового автомобиля „Добль“, испытанного в мае 1935 г. в дорожных условиях на пересеченной местности и показавшего *исключительную по своему эффекту тяговую характеристику*, ставит перед советским автостроением новую, весьма актуальную, проблему: начать немедленно работу по проектированию и постройке советских паровых самоходов всех видов (автомобили, тягачи, тракторы, автобусы, танки и т. п.) и вести таковую одновременно с ныне проводимой у нас работой по автодизелю и автогенераторным установкам. В этом смысле обсуждался вопрос и в совещании (18 — 23 марта 1935 г.) при Академии наук с участием Цудортранса.

Одновременно и параллельно Страна Советов должна поставить на очередь вопрос о том, чтобы сделать самоходы с паросиловой установкой лучшими, чем все заграничные.

Кое-какие шаги в этом направлении у нас сделаны, в частности, в отношении парового трактора. Мы имеем в виду паровой трактор на гусеничном ходу, недавно построенный *Людиновским* заводом, ныне проходящий период испытаний и предназначенный для работы на лесоразработках.

Отсутствие в советской литературе более или менее полных сведений о том, что делается по вопросу о паровом автотранспорте за границей, необходимость использовать опыт капиталистических стран и направить этот опыт на службу страны, строящей социализм, наконец, проблема перевода автомобилей и тракторов в ряде мест Союза на более дешевое местное топливо — все это заставляет нас заняться вопросами систематики того материала, который имеется по паровому автомобилю и трактору и дать те *информации по этим машинам, которые могут ввести наше инженерство в круг идей, существующих в этой области.*

Эта небольшая работа и преследует указанную цель.

Выполняя эту работу, я старался собрать, по возможности, все, что имеется на сегодня по рассматриваемому вопросу; тем не менее в работе, вероятно, найдутся пробелы, — буду благодарен за их указание.

*Автор*

Одесса  
Индустриальный институт  
15/VIII 1935 г.

*„Паровой автомобиль и паровой самолет—яркий пример тех причудливых, порой неожиданных зигзагов, какими идет развитие техники“.*  
Из периодовой газ. „Техника“ от 27 июня 1934 г.  
№ 61 (328).

## ВВЕДЕНИЕ

Нас отделяет только несколько лет от того времени, когда казалось, что дни паровой машины сочтены и что она все более и более вытесняется более современными машинами.

Казалось, что двигатель внутреннего сгорания захватывает ряд областей, в которых господствовала паровая машина; что двигатель отбирает у паровой машины позицию за позицией, побивая последнюю своей компактностью, высоким термодинамическим коэффициентом полезного действия и малым удельным весом на единицу мощности и т. д.

Особенно безнадежными казались перспективы удержания паровой машины в автотяге, о чем столь заботились англичане, культивировавшие паровой „дорожный локомотив“, который никогда не сходил с английских и колониальных дорог, хотя и вызывал подчас злые усмешки поклонников компактного двигателя, уверявших, что только традиция, но не экономические и технические соображения, заставляет Англию—эту „колыбель паровоза“—сохранять на своих дорогах паровой механический транспорт.

Но так обстояло дело до тех пор, пока в технику не был внедрен пар высокого давления (100 атмосфер и выше) и высокие температуры (500° Ц и выше) одновременно с металлами не только высокой прочности, но и высокой устойчивости в отношении криппа (ползучести) и коррозии.

Эти обстоятельства открыли паровой поршневой машине широкую дорогу конкуренции с легким двигателем внутреннего сгорания, и сейчас эта машина уже способна побить двигатель даже в тех областях, где последний господствовал полновластно—в автотранспорте и авиации.

Последние 2-3 года принесли нам ряд новых сведений о модернизированной паровой машине для транспорта.

В Германии установлен на биплан (конструктор Hüttner) турбодвигатель в 20 л. сил.

В Америке установлен на дирижабль (Cytli Glendel) и на два аэроплана паровой двигатель.

Доктор Wedomager разработал паровой поршневой высотный двигатель в 65 л. сил, при испытании коего установлена стоимость летного часа в 1,68 доллара, в то время как летный

час при бензиновом моторе — на том же самолете — стоит 18 долларов.

В Америке (Doble, Stanly и др.), Германии (Henschel & Sohn; Borsig и др.) и Франции (Excho и др.) тщательно работают над конструкциями паровых легковых автомобилей и автобусов; в Англии (Sentinel, Robey и др.) работают над паровым грузовиком.

Можно привести целый ряд известных в настоящий момент работ над паровой машиной для всех видов транспорта, в частности, над паровой машиной автотракторного типа, которая в современных образцах обнаруживает прекрасные качества.

Замечательно еще то, что паровая машина позволяет использовать более дешевые, местные, топлива и позволяет уменьшить число промежуточных звеньев между поршнем и ведущей осью автомашины, если говорить о последней.

В настоящее время, кажется, нет ни одной страны, где не велись бы искания путей использования механическим транспортом малоценных топлив.

Причин таких исканий можно отыскать более чем достаточно.

Ряд стран стремится „освободиться от власти нефти“; ряд стран, богатых местным, малоценным топливом, стремится использовать таковое и т. д.

Отсюда и стремление к использованию генераторных топлив, тяжелых жидких топлив, угольной пыли и брикета, дров, соломы и др.

Мы очень далеки от того, чтобы утверждать, что пар вытеснит из механического транспорта всех остальных силовых агентов. Но если те особенности, которыми на сегодня обладает паровая машина, при современных параметрах пара, ставят машину в смысле техническом и экономическом на одинаковый уровень с другими двигателями, то было бы *и политической, и технической, и экономической ошибкой не использовать этих особенностей и не попытаться сделать паровую машину еще более совершенной.*

Сегодня и автодвигатель и паровую поршневую машину надо рассматривать, как „благородных противников“, борьба между которыми в автотранспорте неизбежна и неустраима — точно так же, как это имеет место на рельсах, где идет борьба между паровозом, тепловозом и электровозом, из коих первый поставлен на рельсы Р. Тревитиком (1803 г.), второй — Даймлером (1891 г.) и третий — Беккером (1835 г.) и Ботто (1836 г.).

Разумеется только, что паровой автотранспортной машине нет надобности проходить весь тот путь, который проделал на рельсах паровоз от Тревитика и Стефенсона до современных образцов, способных тянуть поезд весом в 9950 тонн<sup>1)</sup> и даже в 17600 тонн<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> „Railway Age“ 17 января 1931, стр. 182—186.

<sup>2)</sup> Товарный паровоз „Виржиньен“, вес 450 т при скорости 28 км час, на подъем 2 ‰, „Локомотивостроение“, 1931.

Мы имеем в виду усовершенствование процессов и конструкций.

Если верить Кларку и Баушингеру<sup>1)</sup>, паровоз вышел из рук *Стефенсона* с термодинамическим к. п. д. — коэффициентом полезного действия — около 4%, с которым и держался, примерно, до 70-х годов прошлого столетия.

С этого времени паровоз претерпел ряд эволюций, среди которых надо отметить следующие моменты:

- 1) появление и развитие системы компаунд (1876 — 1889 гг.);
- 2) применение уравновешенных золотников (1885 — 1887 гг.);
- 3) перегрев пара (1890 — 1901 гг.);
- 4) подогрев питательной воды (1910 — 1913 гг.).

Эти мероприятия повысили использование тепла паровозами до 7 — 8%.

Позже имеют место новые мероприятия, каковы, например:

- 1) подогрев воздуха, посылаемого в топку;
- 2) высокое и сверхвысокое давление пара;
- 3) улучшение рабочего цикла путем введения конденсации в целях понижения нижнего предела температур (турбовоз).

Все эти мероприятия, одновременно примененные и к силовой установке парового автомобиля, резко повышают его к. п. д., совершенно сближая последний с таковым же для газосиловых установок с двигателями внутреннего сгорания и с к. п. д. автодизелей.

Это обстоятельство, вместе с замечательными тяговыми свойствами и простотой общей конструкции обещают паровому автомобилю блестящее развитие.

Нужно отметить, что сейчас паровым автомобилем, автобусом, тягачем, трактором и грузовиком занимается не только Англия, но одновременно и Германия, и Америка, и Франция, о чем мы говорили выше.

Сказать только это — значит, сказать очень мало, ибо в последние годы в Югославии появился в значительном количестве и паровой танк<sup>2)</sup> новейшей конструкции (так называемый „легкий танк иллирийского королевства“), обнаруживший на маневрах блестящие качества — и технические и тактические. Очень интересно отметить и ряд новых идей, которые появляются в автостроении и преследуют цели „разукрупнения“ трансмиссии автомашины, — это:

- 1) вставка электромотора вместо ступицы ведущего колеса;
- 2) вставка в ведущее колесо парового многоцилиндрового мотора.

Это — вопросы индивидуального привода.

В частности — опыты с паровым 5-цилиндровым мотором,

---

<sup>1)</sup> Banschinger, Indikatorversuche an Locomotiven, 1868.

<sup>2)</sup> „Kraftzug in Wirtschaft und Heer“ № 2, 1931. „Механизация и моторизация РККА“ № 6, 1931; № 4—5, 1931. „The Royal Tank Corps Journal“, Сентябрь, 1930.

вставленным в колесо, велись в Чикаго, о чем краткие информации в свое время<sup>1)</sup> попали и в нашу печать.

Само собою разумеется, что открывающиеся сейчас широкие перспективы использования легких паросиловых установок на автомобилях и тракторах заставляют в самом срочном порядке развернуть широкий фронт информации, научно-исследовательских, конструкторских и экспериментальных работ по всем вопросам, связанным с этой проблемой, на наш взгляд, чрезвычайно актуальной для Страны Советов.

Паровой самоход, работающий на местном топливе, позволяет нам решать и проблему безрельсового транспорта, о котором в свое время вопрос ставился не раз<sup>2)</sup> различными государствами, применявшими безрельсовые поезда с локомотивами особых типов.

Эта проблема—особенно во время империалистической войны и незадолго перед нею—решалась по различным схемам, из которых главные таковы:

1) при помощи дорожного локомотива и ряда прицепов с пассивными осями;

2) при помощи тягача, имеющего установку: двигатель—динамо-электромоторы, с активными прицепками.

В последнем, более сложном—в смысле схемы—случае прицепки снабжались либо активными (ведущими), либо пассивными осями.

Эта проблема актуальна и для Страны Советов, где вопрос о безрельсовых поездах ставился в 1920—1922 гг. и продолжает ставиться и сейчас.

Напомним об известных безрельсовых поездах, хотя бы предложенных за последние 25—30 лет; это:

1. Поезд *Ренара*, осуществленный во Франции в 1904 г. (патент 25/VIII 1903 г.).

2. Поезда *Новаретти* и *Кантоно*, выпущенные в Италии в 1906 г.

3. Поезда *Сименс-Шуккерт*, выпущенные в Германии с грузоподъемностью в 15 тонн (1907 г.), доведенной позже (1913 г.) до 60 тонн нетто при 10 прицепках.

4. Поезда *Мюллера* с грузоподъемностью нетто в 60 тонн, работавшие успешно на 700 км перегоне в юговосточной Австралии между Мельбурном (Виктория) и Барра-Барра (Нов. Южн. Уэльс) по отвратительным дорогам, а во время империалистической войны принятые германским военным министерством для армии.

5. Поезда „*Ландвер*“, выпущенные австрийским моторостроительным Об-ом „Даймлер“ во время войны, и ряд других.

В царской России также работали такие поезда с паровыми

<sup>1)</sup> Газета „Техника“ № 62 (89) от 3 июля 1932.

<sup>2)</sup> В последнее время см., напр.: „Mechanical Transport“ № 3, 1922, Müller's Road Autotrains. „Русско-герм. вестн. науки и техн.“, № 3-4, 1930.

тракторами Фаулера „Малый лев“ и „Большой лев“. И даже больше: перед самой войной Коломенский завод выпустил несколько паровых дорожных локомотивов с машинами Штумпфа в 110 л. с., часть которых была взята для поездов в период постройки восточной части Амурской жел. дор. (Хабаровск — Благовещенск).

У нас, в Советском Союзе, по вопросу о дорожных безрельсовых поездах высказывалось две точки зрения. Согласно одной из них (проф. Г. Д. Дубеллир) предполагалось организовать поезда с *пассивными* прицепками<sup>1)</sup>, т. е. такими, колеса которых не участвуют в усилении сцепной тяги поезда. Согласно другой точке зрения (А. Крживицкий) предполагалось составлять поезда с *активными* прицепками<sup>2)</sup>, т. е. такими, колеса которых участвуют в увеличении сцепной силы тяги поезда.

Мы совершенно определенно полагаем, что *легкий паровой мотор позволяет прекрасно решить задачу о безрельсовом поезде, работающем по любой из схем, причем важным является то, что установка может быть спроектирована для любого из местных топлив.*

В заключение позволяем себе назвать несколько фирм, занимающихся производством паровых самоходов за границей. Называя только часть из них, мы тем самым хотим показать, что производство рассматриваемых здесь паровых самоходов находится за границей отнюдь не в „зачаточном состоянии“, как говорят некоторые из наших инженеров. Фирмы эти следующие:

1. В Англии: Morton & C<sup>o</sup>; Foden; Clayton; Fowler; Atkinson; Iorkshire; Robey; Garret; Sentinel и др.

2. В Америке: Mann; Dilling; Doble Steam Motors; Steam Appliance Corp.; Bryan Harvester C<sup>o</sup> и др.

3. В Германии: Borsig; Henschel & Sohn; Hailbronn; R. Wolf; Lanz и др.

4. Во Франции: Excho и др.

Указанное положение вопроса с тяговыми машинами, которые мы здесь намерены рассматривать, надо признать заслуживающим самого серьезного внимания.

Так, видимо, смотрят на этот вопрос и некоторые из наших инженеров, ибо в книгах последних лет, посвященных автомобилю, начинают появляться: сравнения автомобилей<sup>3)</sup> парового и моторного; сведения о паровых тракторах<sup>4)</sup>; сведения о паровых грузовиках и автомобилях<sup>5)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Дубеллир Г. Д., проф. Организация перевозки грузов и пассажиров по грунтовым дорогам, 1920.

<sup>2)</sup> Крживицкий А. Исследование средств механической перевозки грузов и электромеханические грузовозы. 1922.

<sup>3)</sup> Чудаков Е. А., проф. Курс устройства автомобиля. Шасси М., 1931, стр. 1 — 22.

<sup>4)</sup> Бухарин Н. А. Современные тракторы. М. 1931.

<sup>5)</sup> Гуляев Г. И. Паровые автомобили и тракторы. 73 стр., 60 рис., М. 1931.

То же самое находим и в ряде журналов<sup>1)</sup> и газет<sup>2)</sup>.

Наконец, известно, что нашим Людиновским заводом выпущен и проходит испытание паровой гусеничный трактор типа „Холт“, намеченный к массовому производству.

Также известно, что проблемой паровых самоходов занимается Научно-исследовательский институт механизации лесного хозяйства СССР и др.

---

<sup>1)</sup> „Вестник инж. и техн.“ № 5, 6, 1928; „Automotive Industrie“, 29/XII 1928; Z. d. V. d. I. Bd 78, № 3, 1934, „Engineering“, 31/VII 1934 и др.

<sup>2)</sup> Газ. „Техника“ №№ 23, 56, 61, 82, 87, 92 за 1934 г. и № 43 за 1935 г.

## ЧАСТЬ ОБЩАЯ

### КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Родословную парового автомобиля следует вести с 1769 года, когда французский инженер Николай - Жозеф Кюньо построил на средства маршала Саксонского механическую паровую повозку, представленную на фиг. 1.



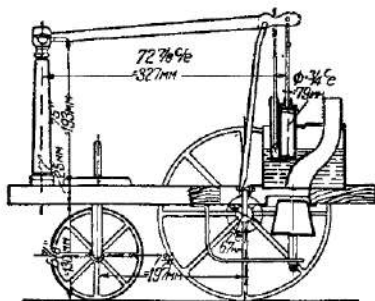
Фиг. 1

Этот автомобиль представлял собою повозку на трех колесах, из которых ведущим было переднее; это колесо приводилось в движение двухцилиндровой паровой машиной, получавшей пар из сферического парового котла, помещенного на раме впереди ведущего колеса.

Автомобиль мог тянуть, или везти, груз в 2,5 тонны со скоростью 4 км/час.

Не входя в рассмотрение достоинств и недостатков этого автомобиля, отметим, что он находится сейчас в Музее ремесл и искусств в Париже, куда привела его авария, случившаяся во время поездки.

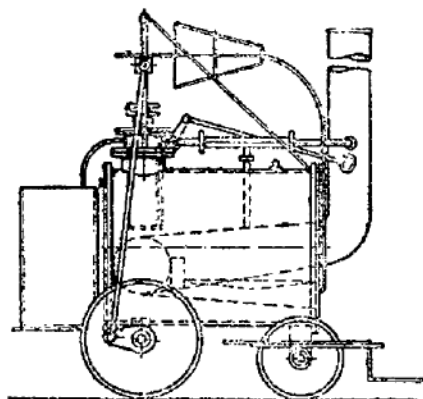
После Кюньо наступает некоторое затишье; в этот период Д. Уатт взял патент на паровую механическую повозку, которая, однако, построена не была; в этот же период его помощник Мурдок построил небольшую модель паровой повозки (фиг. 2) и, на-



Фиг. 2

конец, *Оливье Эванс* пытался применить для движения экипажей паровую машину высокого давления своей конструкции.

Попытки Эванса были продолжены английским конструктором *Ричардом Тревитиком*, которому удалось построить сначала автомобиль, представленный на фиг. 3 (в 1801 г.), а затем — уличный экипаж (в 1802 г.) для перевозки 10 пассажиров, обладавший 2,5-метровыми колесами (фиг. 4), горизонтальным паровым котлом и горизонтальной же машиной, способный двигаться по тогдашним отвратительным дорогам со скоростью 16 км/час.



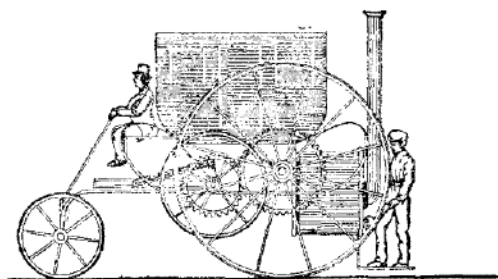
Фиг. 3

Все эти попытки, как равно и ряд последующих, о которых мы не упоминаем, имели целью доказать полную практическую пригодность парового автомобиля для движения по безрельсовым дорогам.

Значительным шагом вперед была постройка 20-местной кареты, выполненной *Генри Джемсом* и работавшей в 1824—1829 гг. Эта карета имела труб-

чатый котел, который к этому времени уже появился у паровозов. Джемс применил также в своих автомобилях, которых он построил несколько, задние ведущие колеса, которые вращались независимо одно от другого на самостоятельных осях и приводились каждое своим паровым цилиндром. Таким образом Джемс указал принцип, по которому пошли конструкторы, давшие позднее дифференциал. Нужно отметить, что кареты Джемса ходили со скоростью до 26 км/час.

Еще дальше пошел, также англичанин, *Голсуорси Горней* (1826—1830 г.), который, найдя предпринимателя, организовал первую автобусную линию, на которую поставил несколько 18-местных карет собственной конструкции, регулярно ходивших между Чельтергамом и Глостером со средней скоростью 20 км/час и имевших вес около 2 тонн (фиг. 5).



Фиг. 4

Автобусы Горнея оказались уже более выгодными, чем лошади, ибо могли двигаться по дорогам, непроходимым для лошадей; кроме того они давали и прибыль, которая „при 396 регулярных рейсах (5680 километров) определилась выручкой в 202 фунта стерлингов“.

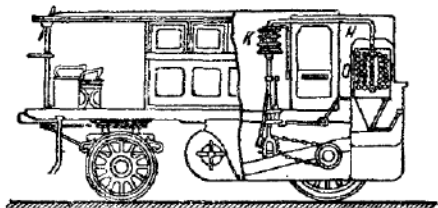
Успех Горнея немедленно вызвал подражание со стороны *Вальтера Хенкок* (1831 — 1836 гг.), построившего 9 автомобилей (6 пассажирских и 3 грузовых), с которыми он и работал около 6 месяцев (Лондон — Страфорд и Лондон — Гринвич).



Фиг. 5

Эти автомобили (фиг. 6) имели 7-атмосферные паровые котлы и цепные передачи к задней ведущей оси. Скорость автомобилей достигала 32 км/час. За указанный 6-месячный период регулярной работы автомобили сделали пробег около 8500 км.

В 1832 г. английский парламент издал закон, в силу которого паровой автомобиль должен был двигаться, имея впереди пешехода с флагом для предупреждения прохожих, а в 1836 г. — установил такие высокие дорожные пошлины, что коммерческое применение автомобилей стало невозможным. Эти ограничительные законы продержались до 1896 г. и решительно убили в Англии паровой автомобилизм и деятельность автобусных линий, быстро прекративших свое существование. В этот период, однако, *Хилс* (1848 г.) сконструировал и применил на практике первую *коробку скоростей*.



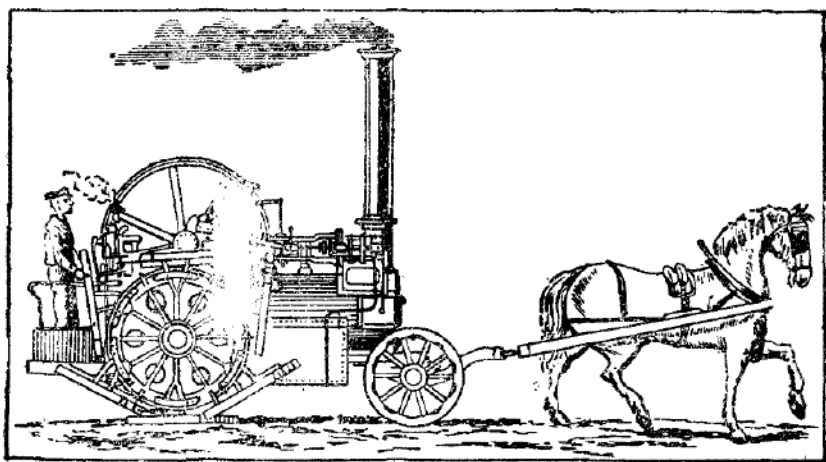
Фиг. 6

После того, как английский парламент убил развитие авто-

мобилизма в Англии, пионеры последнего перенесли свою работу на территорию Франции.

Здесь автомобилизм получил дальнейшее развитие, причем здесь же появился и первый безрельсовый *поезд*, идея которого принадлежит бр. *Диетц*, построившим для перемещения этого поезда из шести вагонов тяжелый трактор весом в 10 тонн, представлявший собою подвижной локомобиль. В 1841 г. такой поезд работал на перегонах Париж—Сенжермени Бордо—Лабури.

Дорожный локомотив бр. *Диетц* имел горизонтальный трубчатый котел паровозного типа и двухцилиндровую паровую машину; его ведущие колеса были снабжены плоскими деревянными башмаками, уложенными на пробковых подушках.



Фиг. 7

Далее, примерно, до 1860 г. никаких новостей в деле развития автомобиля или трактора не было, если не считать появление колеса с педалями (Boydell, 1856 г.), как у самохода, показанного на фиг. 7, и колеса с лопатками (W. Brag, 1858 г.).

Самоходы этих лет не имели хорошего рулевого управления<sup>1)</sup> и нередко управлялись сперва лошадью (фиг. 7), а позже (1860 г.) „гайдом“ (фиг. 8).

Примерно, в 1861 г. введено *рулевое управление с червяком и цепью*.

Самоходы этого типа — весьма тяжелые и сложные — не могли конкурировать с железными дорогами, к этому времени уже получившими распространение, как транспортное средство общественного пользования, и потому не могли получить широкого распространения.

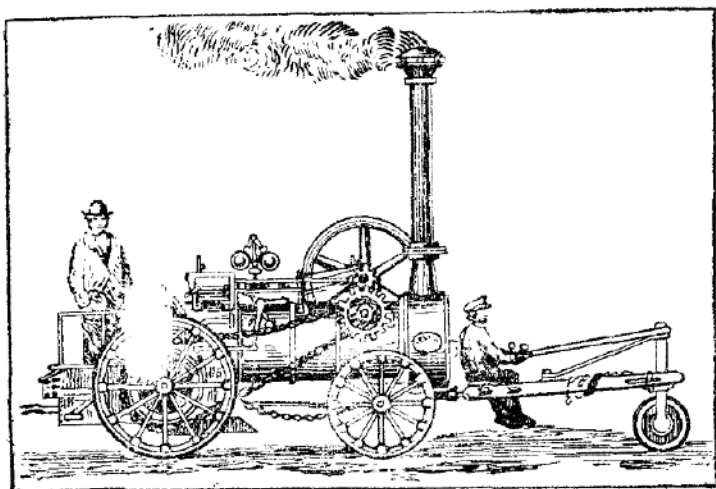
Такое положение было, примерно, до 1870 г., когда кокс и дрова, служившие топливом для автомобилей до этого времени, стали заменяться жидким топливом.

<sup>1)</sup> F. H. Gillford. „Engineering“, 26/IV 1935, стр. 431 и далее.

Последнее обстоятельство позволило облегчить машины и дать им большие дорожные скорости.

В этот период французский конструктор *Амаде-Болле* (1873 г.) выпустил свой паровой автомобиль, который на пробегах Париж — Вена и Париж — Бордо (1875 — 1880 гг.) показал скорости 35—40 км/час и обладал хорошей управляемостью, ибо Болле впервые ввел в конструкцию автомобиля то рулевое управление, механизмом которого, под названием „механизм Жанто“, мы пользуемся и до настоящего дня<sup>1)</sup>.

Наибольших успехов достигли паровые автомобили благодаря работам французского конструктора *Серполе*, который (Leon Serpollet)



Фиг. 8

применил к ним котлы быстрого парообразования, составленные из стальных трубок с плоским поперечным сечением, нагреваемых керосиновыми горелками (1890 г.); в этих трубках вода почти мгновенно обращалась в пар высокого давления.

Эти котлы — легкие, малых габаритов, — чрезвычайно быстро пускаемые в ход и простые, позволили построить ряд паровых автомобилей, которые легко до 1900 г. конкурировали с бензиновыми, находившимися тогда в периоде развития.

В 1899 г. в США образовалась компания для массового производства паровых автомобилей, которая в первые два года выпустила 1500 таких автомобилей<sup>2)</sup>.

Часть этих автомобилей попала и в царскую Россию, где не-

<sup>1)</sup> Львов Е. Тракторы. М., 1931, стр. 592 — 605. Млодзевский проф. Теория механизма Жанто. „Вестн. Инж.“ № 2, 1917.

<sup>2)</sup> Иерусалимский А. М. Автомобиль. 1934, М., стр. 20.

которые экземпляры еще были в 1923 году, правда, уже в нерабочем состоянии<sup>1)</sup>.

Нужно заметить, что к этому времени уже был ряд машин, приспособленных для нужд сельского хозяйства в качестве тракторов, работавших как с прицепными орудиями, так и комбинированных с плугами. Старейшая из таких машин появилась в 49-50-х годах прошлого столетия<sup>2)</sup>.

К 1916—1918 гг. паровые тракторы имели еще заметное распространение („Кейс“, „Румели“, „Фаулер“ и др.); затем против них начался определенный поход: Бразилия первая заявила, что тяжелый трактор, испытывая почву, является „национальной опасностью“.

Мало-по-малу автомобиль и трактор с паровым двигателем были вытеснены бензиновыми и керосиновыми и, казалось, навсегда.

И если сейчас вновь намечается тенденция возврата к пару, то это потому, что высокое давление и высокие температуры позволяют ставить на дорогу весьма экономные и гибкие в тяговом смысле паровые самоходы.

### ОБЪЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Прежде чем рассматривать отдельные конструкции современных паровых самоходов и выяснять их особенности, рассмотрим несколько современных образцов, чтобы дать вполне определенное представление о том, что имеется на настоящий момент в рассматриваемой группе тяговых средств.

#### А. Легковой паровой автомобиль

На фиг. 9 и 10 представлены<sup>3)</sup> два паровых легковых автомобиля, выполняемых в Германии заводами Henschel & Sohn



Фиг. 9

(Kassel) и A. Borsig (Berlin) по проектам американских инженеров бр. Doble. Такого же типа (фиг. 9) автомобиль доставлен в 1835 г. в Москву, где с ним и проделаны разнообразные испытания в дорожных условиях на пересеченной местности<sup>4)</sup>, данные которых нами и будут здесь приведены.

<sup>1)</sup> Тепловая лаборатория Одесского политехнического института.

<sup>2)</sup> John Giles's (combined Steam—ploughing, farm and Road) Locomotive Agricultural Engine, см. журн. „The practical Mechanic's Journal, I/VI 1854, стр. 75—77 (описание и продольный разрез). Также см. „Engineering“, 16/VI 1933; 27/IV 1934; 26/IV 1935. (Паровые тракторы).

<sup>3)</sup> K. Imfeld и R. Roosen, Neue Dampf Fahrzeuge, Z. d. V. D. I., Bd. 78, № 3, 20/I 1934, стр. 65 и далее.

<sup>4)</sup> Газ. „Техника“ от 9 мая 1935, № 43 (432) ст. тт. Миттельман и А. Брюшков (Автозавод им. Сталина).

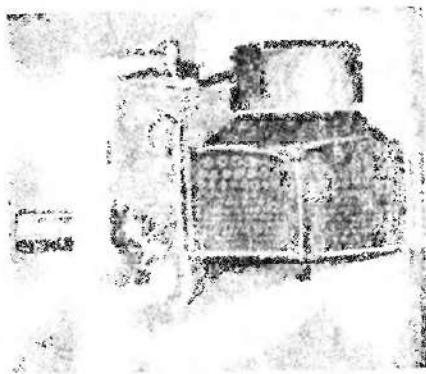
Внешний вид этих автомобилей, как можно видеть из фотографии, такой же изящный, как и внешний вид современных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, к которому все мы так привыкли.

Что же касается технических свойств и особенностей, то они сводятся к указанным ниже.

а) *Котел - парогенератор* представляет собою 230-метровый *непрерывный змеевик*, состоящий из нескольких элементов, сваренных по вертикали, заложенный в кожу; последний имеет внутреннюю стенку из листового *нихрома*, а наружную стенку (связанную с внутренней кольцом) — из алюминия, причем между стенками заложен хороший теплоизоляционный материал „сило-сель“; змеевик выполнен из стальных холодноотянутых трубок. Трубки, свернутые в змеевик, образуют топочную камеру. Последняя для 7-местного лимузина (фиг. 10) имеет: наружный диаметр 560 мм, высоту 300 мм, объем 0,73 м<sup>3</sup>. К верхней части кожуха (фиг. 11) присоединена на болтах камера сгорания, имеющая наружную оболочку из алюминия и такую же изоляцию из „силоселя“. Смесь горючего с воздухом готовится в насадке Вентури, воздух в которую вгоняется небольшим венти-



Фиг. 10



Фиг. 11

лятором. Управление горелкой — автоматическое; последняя горит до тех пор, пока давление пара не достигнет 53 атмосфер, после чего горелка выключается. Зажигание производится электросвечей, расположенной внутри насадки Вентури. Подача воды и топлива производится насосами, регулируемые термостатами и регуляторами давления, в зависимости от температуры и давления пара.

Пар, вырабатываемый котлом, по гибкому паропроводу поступает через ventиль, регулируемый маховичком, в паровую машину; отработанный пар поступает в конденсатор, причем по пути приводит во вращение две паровых турбинки, из коих одна обслуживает вентилятор первичного воздуха, а другая — вентилятор конденсатора, расположенного в лобовой части автомобиля на месте радиатора бензиновых автомобилей.

Таким образом парогенератор представляет собою *прямоточный котел „флаш“* с принудительной циркуляцией (инжекцией) и автоматическим регулированием.

Пар, разумеется, перегретый.

У автомобилей Henschel & Sohn в начале рабочего цикла давление  $p = 100$  ат при температуре перегретого пара,  $t = 450^\circ \text{C}$ ; у автомобиля „Добль“, испытанного в Москве,  $p = 42 - 60$  ат.

Топливом, согласно имеющимся указаниям и сообщениям, служит: газовая нефть, буроугольная смола, соляровая нефть, каменноугольная смола, мазут, газولين, керосин.

Пуск в ход занимает 30—45 секунд. Ниже (табл. 1) приводятся данные испытаний<sup>1)</sup> парогенератора „Добль“.

Таблица 1

Давление пара . . . . .	42,3	53,5	60,0
Выработка пара кг/час . . . .	400	520	605
Съем пара кг/м <sup>3</sup> час (на м <sup>3</sup> объема топки) . . . . .	530	730	810
Расход топлива кг/час . . . . .	35	46	54
Теплонапряжение топочной камеры кг-кал/м <sup>2</sup> час . . . . .	560	743	865
Температура уходящих газов °C . . . . .	290°	310°	340°
К. п. д. котла в % . . . . .	80	78	77
Кэффц. избытка воздуха . . . .	1,2	1,09	1,13

б) *Паровая машина* рассматриваемых автомобилей имеет два (фиг. 9) или четыре (фиг. 10) цилиндра для мощности 80 и 120 л. с. У автомобиля „Добль“ машина 4-цилиндровая двойного расширения, компаунд, имеет:

диаметр ц. в. д. . . . .	66,7 мм
„ ц. н. д. . . . .	114,3 „
ход поршней . . . . .	127 „
число оборотов . . . . .	820 об/мин
тормозная мощность . . . . .	82 л. с.

Цилиндры отлиты попарно с общей золотниковой камерой. Распределение пара совершается посредством двух поршневых золотников, управляемых кулиссой Стефенсона, обеспечивающей реверсацию и три отсечки:

- 85% — для троганья с места и очень трудных подъемов;
- 65% — для городской езды, как обеспечивающая максимальное ускорение (около 2,7 м/сек<sup>2</sup>) при хорошей экономичности;
- 45% — для всех случаев езды, кроме городской и крутых подъемов.

<sup>1)</sup> „Техника“ № 43 (432) от 9 мая 1935 г., инж. Миттельман И., Брюшков А. (Автозавод им. Сталина).

Паровая машина свободно подвешена на задний мост.

в) *Вспомогательные механизмы* составляют один блок, подвешенный в трех точках под передней доской пола<sup>1)</sup>.

Этот блок объединяет: четыре водяных питательных поршневых насосов (нормально работают два, а при повышенном расходе пара — четыре); вакуум-насосы; динамо; насос для смазки цилиндров; насос для подачи горючего; привод спидометра.

Вспомогательный механизм приводится в движение коротким карданным валом от коленчатого вала машины. Скорость хода автомобиля (фиг. 10) достигает 150 км/час.

При испытаниях машина показала — при средней скорости 70 км/час — расход нефти 24 л на 100 км и расход смазки 1 л на 1500 км<sup>2)</sup>.

Отмечаем дополнительно, что автомобиль решительно не боится перегрузки и бесшумен на ходу; чрезвычайно „приемист“ и эластичен в смысле тяговом; не только может прогрессивно менять скорость, но, в виду отсутствия коробки скоростей — крайне облегчает работу шоффера, который при езде на бензиновом автомобиле должен, как известно, делать в смену 1200 — 1400 переключений скорости (около 4000 в сутки).

Испытание в Москве показало, что несмотря на то, что автомобиль, подвергавшийся испытанию, имел за собою в Америке 105000 км пробега, автоматические приборы его работали при испытании вполне надежно, и машина показала *исключительную по своему эффекту* тяговую характеристику и качества, не присущие нормальным бензиномоторным машинам<sup>3)</sup>.

Вес 5-местного автомобиля составляет 1230 кг, а 7-местного — 2300 кг, что и в этом отношении сравнивает паровой автомобиль с бензиновым.

Кроме рассмотренных машин, имеются такие же машины „Беслер“ и „Стенли“, из коих „Стенли“ (как открытые, так и лимузины) строятся с котлом как низкого (14 ат), так и высокого ( $p=38$  ат) давления и с двухцилиндровыми горизонтальными машинами — компаунд с клапанным парораспределением, регулируемым в отношении реверсивности и отсечек.

В отзывах об этих автомобилях указывается, что у этих автомобилей<sup>4)</sup>:

„прежде всего отпадает коробка скоростей, гибкая паровая машина обеспечивает равномерный ход автомобиля при всяких скоростях, которые регулируются только паровым вентилем; пуск в ход спокойный, без всяких толчков; остановка производится простым закрытием парового вентиля; движение — бесшумное, спокойное, без толчков,

<sup>1)</sup> V. D. I., № 3, 1934.

<sup>2)</sup> „Техника“, № 43 (432) от 9 мая 1935.

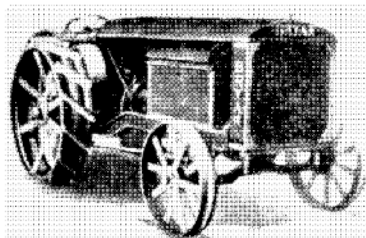
<sup>3)</sup> „Техника“, № 43 (432) от 9/V 1935.

<sup>4)</sup> „Успехи промышленной техники“, БИИТ, № 5, 1925, стр. 128.

весьма благотворно отзывающееся на износе шин и каросери; отопление котла производится мазутом; эксплуатация автомобиля — очень экономна и стоимость топлива не превышает 50% стоимости бензина равносильного автомобиля“.

## Б. Паровой сельскохозяйственный трактор

На фиг. 12 представлен<sup>1)</sup> один из современных паровых сельскохозяйственных тракторов — трактор Bryan, Harvester Co (Peru, Indiana, U. S. A.) легкого типа.



Фиг. 12

Трактор имеет чрезвычайно приятный внешний вид и резко отличается всей конструкцией от тех паровых тракторов с локомотивным котлом, которые пугали своим весом.

Общая техническая характеристика трактора сводится к следующему.

Трактор имеет паровой водотрубный котел, составленный из мелких трубчатых элементов, вырабатывающий пар в 42,5 ат.

Паровая двухцилиндровая, горизонтальная машина, простого расширения, с золотниковым парораспределением и кулисами Стефенсона, имеет диаметры цилиндров  $d = 101,6$  мм (4") и ход поршней  $l = 127$  мм (5"); при числе оборотов коренного вала  $n = 220$  об/мин., машина дает номинальную мощность  $N = 20$  л. с.

Средняя скорость трактора — 8 км/час,  
Радиус поворота — 4,5 м.  
Полный рабочий (мокрый) вес — 2300 кг.

## В. Паровой автобус

Один из образцов машин этого назначения — паровой американский автобус<sup>2)</sup> фирмы Delling Motors Co (Cameo, N. I. U. S. A.) — изображен на фиг. 13, где дано фото 35-местного, одноэтажного автобуса для городской езды.

Паровой котел этого автобуса, вырабатывающий пар с рабочим давлением 42,5 ÷ 50 ат, имеет 686 тонких ( $d = 16$  мм) дымогарных трубок, снабжен подогревателем питательной воды и перегревателем пара и расположен в передней части шасси.

Отработанный в машине пар поступает в холодильник, состоящий из одной передней и двух задних секций, расположенных по концам шасси, на подобие радиатора бензинового авто-

<sup>1)</sup> Бухарин Н. А., Современные тракторы. М, 1931.

<sup>2)</sup> „Automotive Industries“, Dec. 29, 1928, стр. 940, статья P. M. Heldt — New — Steam — Propelled Motor Bus Has Horizontale Boiler.

буса, охлаждаемых воздухом, который засасывается двумя сильными вентиляторами.

Паровая машина автобуса имеет три цилиндра с диаметрами  $d = 107,9$  мм ( $4\frac{1}{4}$ "), с ходом поршней  $l = 120,6$  мм ( $4\frac{3}{4}$ ") и работает по принципу одиночного расширения. Машина расположена поперек шасси и действует на коленчатый вал, уложенный вдоль шасси.



Фиг. 13

Передача к задним ведущим колесам выполняется от коленчатого вала через дифференциал, составленный из конических зубчатых колес.



Фиг. 14

Нормальная скорость автобуса — 32 км/час — устанавливается через 8 секунд от момента трогания с места.

Автобусы строятся также фирмами:

Automotive Sind<sup>1)</sup> (США), Bruck Steam Motors<sup>2)</sup> (Америка), Henschel & Sohn<sup>3)</sup> (Германия).

## Г. Паровой грузовик

Здесь мы даем паровые грузовики двух разных типов :

а) Английский, фирмы Robey & Co Lincoln (фиг. 14), с котлом низкого (17,5 ат) давления и машиной на котле, работающий с поворотной прицепкой (грузоподъемность 6 т).

б) Английский тяжелый 8-колесный паровой грузовик (фиг. 15) фирмы Sentinel, Shrewsbury, с отделенным от машины котлом, также работающий паром низкого (15 ат) давления, имеющий грузоподъемность 12—14 т<sup>4)</sup> и скорость до 33 км/час.\*

Не касаясь подробностей, которые сообщим ниже, мы приводим фотографии этих грузовиков исключительно с целью показать вид машин этого типа и иметь возможность наметить признаки для классификации.

## ПРИЗНАКИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ

Внимательный читатель, рассматривая данные относительно самоходов, представление о которых дано выше (фиг. 9—15),



Фиг. 15

мог сразу же увидеть общий — главный — признак для классификации — конструктивную связь между котлом и машиной.

Так, у самохода Robey (фиг. 14) машина находится непосредственно на котле точно так же, как и у предшественников этого типа (фиг. 7, 8); у самоходов Вулан (фиг. 12), равно как и у легковых автомобилей (фиг. 9, 10), машина отделена от котла.

Этот признак позволяет разделить паровые самоходы на два основных типа:

а) „Overtypе“ — высокий тип, у которого машина расположена непосредственно на котле.

б) „Undertype“ — низкий тип, у которого паровая машина расположена на шасси, отдельно от парового котла.

Эта классификация принята в Англии и мы считаем ее очень удобной.

<sup>1)</sup> „Bus Transportation“, март 1929.

<sup>2)</sup> „Bus Transportation“, июль 1929.

<sup>3)</sup> „V. D. I.“, № 3, 1924.

<sup>4)</sup> „Engineering“, 31 авг. 1934, стр. 235; 1933, стр. 583; 1930, стр. 326.

„Undertype“, в свою очередь, может быть разделен на три группы.

*Первая группа* самоходов имеет сильные, тихоходные паровые машины и передачу цепью на ведущую ось.

*Вторая группа* имеет менее мощные быстроходные машины, коробку скоростей и передачу на ведущую ось цепью.

*Третья группа* имеет быстроходные машины и передачу на ведущую ось карданом.

„Overture“ может быть разделен на две группы.

*Первая группа* — без коробки скоростей.

*Вторая группа* — с коробкой скоростей.

Дальнейшими признаками для классификации могут быть следующие.

а) *Количество осей* — две, три или четыре.

б) *Тип парового котла* — вертикальный, горизонтальный; водотрубный, жаротрубный, паровозный, прямоточный; высокого и низкого давления; для отопления жидким или твердым топливом и т. д.

в) *Тип паровой машины* — вертикальная, горизонтальная, V-образная; двух-трех-многоцилиндровая; золотниковая, клапанная; тихоходная, быстроходная; работающая простым расширением или компаунд; работающая с конденсацией или без таковой; простого или двойного действия и т. д.

г) *Число ведущих осей* — одна или две ведущих оси; двухосная ведущая тележка.

д) *Назначение* — перевозка пассажиров; грузовой транспорт; обслуживание специальных (коммунальных и др.) нужд; сельскохозяйственные надобности.

е) *Тоннаж* — легкие (до трех тонн); средние ( $3 \div 8$  т); тяжелые ( $10 \div 20$  т).

Всех этих признаков достаточно для точной характеристики и самой широкой классификации.

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СПРАВКИ

Наибольшее распространение паровые самоходы, в частности грузовики, имеют в Англии, где их имеется в настоящее время около 25000 и где работает 10 — 12 фирм, занятых производством этих машин, которых выпускается до 3500 в год.

Далее, они очень распространены в Южной Африке, Индии и Австралии и не являются редкими в Южной Америке.

Часть самоходов имеется в Германии, германского же производства; часть осталась после империалистической войны и у нас в СССР, где они работали на крупных стройках (Челябинск и др.) и на свеклосахарных плантациях.

Само собою разумеется, что возможность работать на местных топливах определяет для паровых самоходов и области их распространения в СССР.

Опыт *Люденовского завода*, построившего паровой гусеничный

трактор с двухбарабанным экранированным котлом для отопления 0,5-метровыми швырковыми дровами, позволяет указать все лесное хозяйство, как одну из областей, где паровой самоход может быть внедрен бесспорно.

Пригодность в качестве топлива угля и угольного брикета, а равно мазута и др. тяжелых жидких топлив, определяет и ряд других областей промышленности, где паровой самоход может найти себе применение в том или ином виде.

Весь вопрос — в экономике.

Газета „Техника“<sup>1)</sup> по последнему вопросу пишет следующее: „Все качества парового автомобиля сказываются в первую очередь на *коммерческой скорости*, которая по сравнению с бензиновыми дает повышение, примерно, до 20%.

А так как коммерческая скорость — важнейший фактор, влияющий на удешевление эксплуатации, то и стоимость километра пробега соответственно понижается.

Если к тому же учесть дешевизну низких сортов жидких топлив, то станет очевидным преимущество паровых автомобилей перед бензиномоторными.

В американских условиях (Детройт) топливная слагаемая стоимости эксплуатации составляет для парового автобуса на мазуте 4-5 коп., а для бензиномоторного автобуса на газолине 13-14 коп. на 1 км“.

Инж. Гуляев Г. И.<sup>2)</sup>, делая сравнительные расчеты стоимости пробега одного км парового и бензиномоторного грузовика, по московским ценам и нормам ЦУМТ, определяет расходы по топливу равными:

- а) для бензиномоторного 5-тонного грузовика — 11,40 коп/км,
- б) для парового 6-тонного грузовика — 4,95 коп/км.

Это соотношение на сегодняшний день изменилось очень мало.

Так как это соотношение может все же показаться очень резким, мы считаем необходимым дать несколько справок такого же порядка из заграничной практики, причем считаем необходимым предупредить или, вернее, напомнить, что у нас в СССР соотношение стоимостей мазута и газолена не менее резко, чем за границей (США и др.).

Пользуясь отчетными данными<sup>3)</sup> по эксплуатации паровых грузовиков Советом Йоркширского графства (Англия), где последние работали в очень тяжелых условиях на постройке шоссейных дорог, приводим ниже средние отчетные показатели, выведенные на одну 5-тонную машину и относящиеся к шестому году эксплуатации; эти данные получены в результате эксплуатации 19 паровых грузовиков, из которых 10 — фирмы „Foden“, а 9 — фирмы „Clayton“.

<sup>1)</sup> „Техника“ № 43 (432), от 9 мая 1935 г.

<sup>2)</sup> „Вестн. инж. и техн.“, № 5, 6, 1928.

<sup>3)</sup> „Motor Transport“, 5/VII 1926.

Грузовики дали за один год на один грузовик:

рабочих дней . . . . .	266,7 — 80,11%
простоев . . . . .	33,3 — 10,18%
ремонта . . . . .	32,9 — 9,71%

Итого 332,9 — 100%

Пробег отчетного грузовика определен за указанное время в 7240 км, которые распределяются следующим образом:

под нагрузкой . . . . .	3563 км — 49,21%
без нагрузки . . . . .	3677 км — 50,79%

Итого 7240 км — 100%

Перевезено грузов — 4283,8 т.

Сделано за рабочий день — 79,3 т-км.

Стоимость тонно-километра перевозок, выполненных грузовиком, 7,8 пенса (32,9 коп.).

Если взять для сравнений те лимиты, которые предлагались у нас Союзтрансом, примерно, в то же время, то получим <sup>1)</sup> следующие технические показатели для СССР:

а) средний суточный пробег автомашины в городе (при 16-часовой работе) 100—120 км,

б) средний суточный пробег автомашины на трактах 120—200 км.

При этом проектируются — в порядке встречного промфинплана:

а) повышение коэффициентов использования тоннажа до 0,65,

б) снижение лимитов себестоимости тонно-километра перевозок до 0,49 руб.

Что касается фактических значений себестоимости тонно-километра перевозок у нас за предыдущие 1-2 года, то они в ряде случаев весьма высоки и доходили до 1,87 руб.

Далее позволяем себе привести несколько данных произведенных испытаний.

При испытании 6-тонного парового грузовика „Jorkshire Patent Steam Wagon C<sup>o</sup>“, выполнившего пробег 106,5 км под грузом в 6 т со скоростью 21—22,5 км/час по профилю с подъемами до 17% длиной до 170 м, получены <sup>2)</sup> следующие результаты:

средняя скорость . . . . .	22 км/час
расход угля на 1 км . . . . .	1,407 кг/км
пробег на 1 л (50,8 кг) угля . . . . .	37,7 км
расход воды на 1 км . . . . .	12,7 кг/км
стоимость топлива на 1 км пробега . . . . .	1,1 пенса (4,64 коп.)

Касаясь расхода топлива для легковых автомобилей немецкой фирмы „Henschel & Sohn“, указываем <sup>3)</sup>, что при средней скорости

<sup>1)</sup> Местный транспорт СССР сегодня. „Дорога и автомобиль“, № 4, 1931, стр. 2—7.

<sup>2)</sup> „The Commercial Motor“, 6/VI 1926.

<sup>3)</sup> V. D. I., № 3, 1934, стр. 65; также „Техника“, № 61 (328) от 27/VI 1934.

в 70 км/час и номинальной мощности в 120 л. с. расход нефти составляет всего 24 л на 100 км пути, или 0,20 кг на силу 100 км.

Наконец, испытания в СССР легкового автомобиля „Добль“ показали расходы топлива (см. выше — табл. 1) 35—54 кг/час, или в среднем 46 кг/час, что при тормозной мощности машины в 82 л. с. даст фактический средний расход (достаточный для поддержания постоянной скорости автомобиля в 150 км/час), равный 0,56 кг/час, или 0,37 кг на силу 100 км.

Эти расходы нисколько не перекрывают расходов для бензиномоторных самоходов с точки зрения количества расходуемого топлива.

Эти обстоятельства делают возможной и ту конкуренцию, которая имеет место в Англии между паровыми грузовиками и железной дорогой.

В английской практике перевозок установлено, что при расстоянии перевозки около 240 км (150 англ. миль) стоимость перевозки каменного угля железной дорогой и паровыми грузовиками одинакова; при более же коротких расстояниях все выгоды остаются на стороне паровых самоходов, которые в этом случае являются весьма серьезным „оппозиционным экипажем“ — для жел. дорог.

Конкретно, перевозка тонны угля по жел. дороге при расстоянии 130 км (80 миль) обходится <sup>1)</sup> 13 шиллингов и 3 пенса, тогда как при перевозке паровым грузовиком она составляет 11 шиллингов и 3 пенса.

Фирма „Morton & Co Ltd“, эксплуатирующая 20 паровых и 8 бензиновых грузовиков для перевозки хлопка между Ливерпулем и Ольдгемом, указывает <sup>2)</sup>, что стоимость перевозок хлопка паровыми грузовиками (12 шилл. 6 пенсов за тонну) на 25% дешевле перевозок по жел. дороге (16 шилл. 3 пенса за тонну).

Мы считаем возможным ограничиться сказанным, ибо и этого достаточно, чтобы сказать, что паровые самоходы могут прекрасно решить весьма актуальную проблему экономии топлива.

В конце книги мы даем еще ряд цифр, характеризующих работу паровых самоходов.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПАРОВЫХ САМОХОДОВ

Паровые самоходы всех типов и классов, за некоторыми исключениями, которые будут указаны ниже при описаниях, отличаются прежде всего простотой конструкции.

Работая на значительно меньших числах оборотов (150—800 об/мин.), чем бензиновые и керосиновые двигатели тракторов (500—1300 об/мин.) и автомобилей (2500—4000 об/мин.), паровые машины находятся в лучших условиях в отношении

<sup>1)</sup> „Motor Transport“, 1/VIII 1927.

<sup>2)</sup> „Motor Transport“, 3/VIII 1925.

износа, нежели двигатели внутреннего сгорания. Равным образом для паровых машин оказывается более выгодным и температурный режим, ибо работа этих машин при более низких — сравнительно с двигателями — температурах, обеспечивает и более низкие температурные напряжения в материале машин.

Сравнение индикаторных диаграмм паровой машины и двигателя внутреннего сгорания также оказывается в пользу первой. В то время как в паровой машине при росте нагрузки площадь диаграммы увеличивается в результате увеличения наполнения, а начальное давление остается постоянным, в двигателе внутреннего сгорания увеличение площади диаграммы достигается за счет повышения начального давления. Поэтому двигатель внутреннего сгорания допускает перегрузку не больше, чем на 20—25%, тогда как паровая машина допускает длительную перегрузку в 50—60%, а кратковременную до 100% и выше, что совершенно недостижимо для двигателей внутреннего сгорания.

В эксплуатации все грузовики, работающие с грузами большого объема и малого веса, расходуют неполную мощность. Эта недогрузка резко ухудшает эффективный к. п. д. двигателей внутреннего сгорания и сравнительно мало влияет на к. п. д. паровых машин. В силу этого паровой самоход при работе в условиях недогрузки оказывается в условиях более благоприятных, чем такой же самоход с двигателем внутреннего сгорания.

Отличительной чертой паровых самоходов является еще то, что они могут работать на таких сортах топлива, какие совершенно непригодны для самоходов с двигателями внутреннего сгорания, в частности — на дровах, каменном угле, буроугольном брикете, мазуте и т. п., т. е. вообще на топливах худших и более дешевых, чем те, которые нужны для двигателей внутреннего сгорания (бензин, керосин, нефть) автотракторного типа.

Таким образом, несмотря даже на худшее использование топлива в паросиловом агрегате в термическом отношении, применение последнего в ряде случаев оказывается более выгодным, нежели применение двигателя внутреннего сгорания, работающего на высокосортном топливе.

В паровом самоходе, где количество пара, вырабатываемого котлом, не является полной функцией режима паровой машины и зависит лишь от большей или меньшей форсировки самого котла, энергия, заключенная в паре, может быть использована в паровой машине совершенно произвольно: либо при малом числе оборотов вала машины и большом крутящем моменте, либо при большом числе оборотов и малом крутящем моменте.

Это свойство паровой машины позволяет паровому самоходу легко преодолевать меняющееся сопротивление дороги без необходимости прибегать к изменению передаточного отношения между числом оборотов вала машины и числом оборотов

ведущей оси, т. е. без введения в конструкцию самохода коробок скоростей.

Проф. Чудаков<sup>1)</sup>, сравнивая паровой автомобиль с моторным пишет следующее:

„Практика показала, что для преодоления отдельных повышенных сопротивлений, могущих иметь место при работе автомобиля (троганье с места, подъем, плохая дорога), необходимо иметь возможность увеличить крутящий момент на ведущих колесах, примерно, *в четыре раза* против того, который необходим для преодоления сопротивлений, испытываемых автомобилем при движении с максимальной скоростью по нормальной дороге.

Паровые автомобили дают такое повышение крутящего момента при увеличившемся сопротивлении пути и при замедленном движении автомобиля (не требуя коробок скоростей).

Автомобиль, снабженный двигателем внутреннего сгорания и постоянной передачей между его коленчатым валом и ведущими колесами, не в состоянии преодолеть сопротивление, значительно превышающее то, которое имеется при его движении по ровному месту, ибо при увеличившемся сопротивлении автомобиль снизит скорость, значительного же увеличения крутящего момента на коленчатом валу не получит“.

Равным образом паровой самоход не нуждается в коробке скоростей и для осуществления заднего хода во всех тех случаях, когда паровая машина самохода реверсивна.

В тех случаях, когда паровой самоход снабжается все же коробкой скоростей, комбинация двух-трех скоростей по коробке и нескольких позиций золотникового перекрытия дает в результате экономичную и чрезвычайно плавную работу при полной приспособляемости самохода к меняющимся во время хода сопротивлениям дороги и при полной реверсивности на таких же режимах, как и для переднего хода.

Изменение скорости парового самохода легко достигается путем изменения отсечки пара в цилиндрах машины, что выполняется простым нажатием педали. Таким образом при передаточном отношении, установленном коробкой скоростей, если такая применена, изменение скорости может быть легко достигнуто путем изменения режима работы машины, т. е. без перестановки коробки на другую скорость.

При дальнейших сравнениях парового самохода и самохода с двигателем внутреннего сгорания, надо отметить еще следующие обстоятельства:

1. По предельной скорости движения на первое место надо поставить автомобиль с двигателем внутреннего сгорания; спе-

---

<sup>1)</sup> Проф. Чудаков Е. А. Курс устройства автомобиля, Шасси, стр. 15—16, Москва, 1931.

циальные, гоночные, автомобили с двигателями этого типа показали весьма высокие скорости (напр., „Синяя птица“ показала скорость около 450 км/час).

Правда, для нормальной эксплуатации автомобиля на обычных дорогах эти скорости недостижимы и ненужны, но их отменить все же необходимо.

2. По *коммерческой скорости* движения и паровой, и моторный самоходы, примерно, одинаковы.

3. В *отношении радиуса действия*, определяемого запасами топлива и воды, возимыми самоходами с собою, и паровой, и моторный самоход, примерно, одинаковы<sup>1)</sup>. Конкретно, для легкового парового автомобиля „Добль“ 90 л топлива и 70 л воды хватает, примерно, на 500 км. „Легкий танк иллирийского королевства“ имеет радиус действия, без пополнения запасов, в 480 км.

Паровой гусеничный трактор (70 л. с.) Людиновского завода работает без пополнения запасов (дрова и вода) 6 часов.

4. В *смысле надежности действия* на первое место надо поставить паровой самоход, как более простой и легко приспособляющийся к следованию даже на одном паровом цилиндре в случае выхода из строя остальных (проф. Чудаков считает паровой автомобиль менее надежным, чем нормальный бензиновый).

5. В *смысле простоты управления* — особенно, при наличии автоматически действующей системы водоподдачи и топливopоддачи, сводящих все управление силовым агрегатом к управлению дроссельным клапаном, регулирующим поступление пара из котла в машину, — на первое место надо поставить паровой самоход.

6. В *отношении изменения скоростей* на первое место надо поставить паровой самоход, ибо для него, по существу, скорости хода совершенно произвольны и могут быть изменяемы прогрессивно, а не ступенчато, поскольку они весьма легко устанавливаются только путем изменения отсечки пара.

7. В *отношении преодолевания подъемов* на первое место надо поставить паровой самоход, обеспечивающий автоматически более значительное изменение крутящего момента и, следовательно, могущий преодолевать большее сопротивление на затяжном подъеме.

Паровые грузовики легко берут под полным грузом подъемы в 17<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, недоступные для большинства колесных грузовиков с двигателем внутреннего сгорания.

Паровая машина не может „заглохнуть“ на тяжелом подъеме, на что двигатель внутреннего сгорания весьма способен.

8. В *отношении расхода на шины* на первое место надо поставить паровой самоход, у которого изменения скорости бес-

---

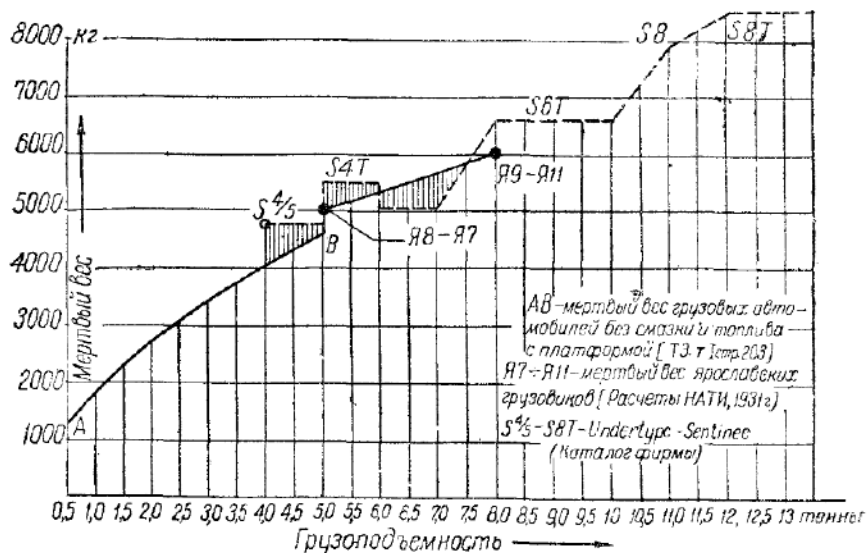
<sup>1)</sup> Проф. Чудаков Е. А. Курс устройства автомобиля, Шасси, стр. 20, Москва, 1931.

ступенчатый и который к тому же не менее склонен к боксованию.

9. *В отношении стоимости* оба сравниваемые типа, примерно, одинаковы.

Разумеется, паровые самоходы обладают и рядом недостатков, которые отмечаются нами ниже.

Прежде всего, в качестве недостатка — особенно для ряда самоходов Overture — надо отметить повышенный вес. Самоходы Undertype в этом отношении значительно более благополучны.



Фиг. 16

Разберем вопрос о весе несколько подробнее.

В первую очередь рассмотрим вопрос о весе грузовиков, поскольку паровой грузовик является наиболее распространенной машиной из всех современных паровых самоходов.

Принято считать, что для грузовиков с двигателем внутреннего сгорания грузоподъемность, примерно, равна собственному весу грузовика, т. е. для них так называемый „коэффициент рациональности конструкции“, представляющий собою отношение полезной нагрузки к мертвому весу, близок к единице.

На диаграмме (фиг. 16) указан<sup>1)</sup> мертвый вес для грузовиков полезной грузоподъемности от 0,5 до 5 т.

Из этой диаграммы видно, что после полезной грузоподъемности около 4 т собственный (мертвый) вес грузовика становится меньше полезного; при дальнейшем росте грузоподъемности разрыв между весом становится резче, так что современный

<sup>1)</sup> „Техн. энцикл.“ т. I, стр. 203, фиг. 48, М., 1929.

грузовик для грузоподъемности в 6 т уже имеет мертвый вес около 4,5 т<sup>1)</sup>.

Таким образом надо констатировать, что в среднем для моторных грузовиков равенство веса полезного и мертвого наступает при средней грузоподъемности в 4 т.

Для грузовиков малого и среднего веса Undertype имеет место такое же соотношение. Что же касается тяжелых грузовиков Undertype, то для них эти соотношения нарушаются, и паровой тяжелый грузовик оказывается несколько тяжелее моторного, что можно видеть, например, из данных табл. 2, где приведены значения веса для английских грузовиков Tornicroft (моторный) и Sentinel (паровой).

Таблица 2

	Вес грузовика в тоннах	
	Моторного	Парового
Вес шасси . . . . .	6,10	7,45
„ платформы . . . . .	1,00	1,00
„ воды и топлива . . . . .	0,15	1,00
„ полезного груза . . . . .	10,00	10,00
Итого	17,25	19,45

Как можно видеть из этой таблицы, вес парового грузовика оказывается на  $11\frac{1}{2}\%$  больше веса моторного. Но, нужно заметить, что здесь рассматривается паровой самоход с котлом низкого (17 — 22 ат) давления и тихоходной паровой машиной; при котлах высокого давления и быстроходных машинах может получиться и обратное соотношение даже для тех групп грузовиков, для которых коэффициент рациональности конструкции обычно равен, в среднем, единице.

Так, например, французский паровой грузовик „Exscho“ при грузоподъемности в 4 т весит в рабочем состоянии 3,8 т, что делает его более легким, нежели моторные грузовики такой же грузоподъемности.

Что касается грузовиков Overtime, то для большинства из них равенство между весом полезного груза и мертвым весом грузовика обычно наступает при грузоподъемности в 6 т, т. е. Overtime несколько тяжелее моторных; у очень тяжелых машин вес сравнивается за пределом грузоподъемности в 6 т, как это имеет место, например, для парового самохода Garrett, данные для которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Грузоподъемность т . . . .	4	6	8
Вес в рабочем состоянии .	7,00	7,25	7,50

<sup>1)</sup> „Motor Transport“, 14/XI 1927.

Что касается легковых паровых автомобилей современной конструкции, т. е. с котлом высокого давления и быстроходной паровой машиной, то их вес несколько не превышает веса бензиновых автомобилей.

Так, например, вес 7-местного 120-сильного парового лимузина завода „Henschel & Sohn“ составляет 2300 кг (собственный вес), что дает:

на одного пассажира . . . 328,6 кг,  
на одну л. силу . . . . . 19 кг.

Вес открытого 5-местного 80-сильного парового автомобиля „Добль“ составляет 1230 кг, что дает:

на одного пассажира . . . 246 кг,  
на одну л. силу . . . . . 15,4 кг.

Сравнение веса паровых и моторных тракторов мы даем в табл. 4, где приведены данные для 20-сильного парового трактора „Bryan Harvester Co“ (фиг. 12) и моторных тракторов такой же мощности.

Таблица 4

Характеристики	Трактор Паровой „Бриан“ 20 л. с.	Моторные тракторы		
		„Интер“ 10/20	„Кейс“ 10/20	„Ойль-Пуль“ 20
Номинальная мощность двигателя л. с. . . . .	20	20	20	20
Рабочий вес трактора кг .	2500	1775	1920	2900
Вес кг на 1 л. с. . . . .	125	89	96	145

Согласно этой таблице средний вес моторных тракторов составляет на одну номинальную силу 110 кг, что меньше удельного веса парового трактора типа „Bryan“.

Но так как паровой трактор без всякого ущерба может работать с постоянной перегрузкой в 25%, то, сделав перерасчет на мощность 25 л. с., получим вес в 100 кг/л. с., что крайне сближает рассматриваемый вес.

Согласно имеющимся сведениям перестройка „Холт-60“ на паровой гусеничный трактор, выполненная Людиновским заводом, привела к утяжелению трактора на одну тонну, но одновременно и к мощности в 78 л. с., вместо имевшихся в „Холта“ 60 л. с.; здесь мощность выросла резче, чем собственный вес.

Вообще говоря, все же надо констатировать, что, несмотря на то, что вес современных паровых самоходов в отдельных случаях ниже веса аналогичных моторных, — в общем паровые самоходы все же еще обладают большим весом, нежели моторные.

Впрочем этот показатель с каждым годом выравнивается, ибо современное автотракторостроение, если говорить о паро-

вых автомобилях, грузовиках и тракторах, имеет в своих руках могучие средства для резкого снижения веса.

Мы имеем в виду:

а) уменьшение веса котла и машины путем применения высоких давлений пара и высоких температур при одновременном применении легированных материалов и сварки;

б) уменьшение количества возимой воды и топлива за счет улучшения теплового процесса в котле и в машине;

в) уменьшение веса путем применения материалов повышенной крепости, легких сплавов, полых и сварных деталей.

Задача облегчения бесспорно будет решена в самом недалеком будущем.

Напомним, что совсем еще недавно, перед мировой войной, вернее — уже в разгаре войны, тракторы с двигателями внутреннего сгорания были очень тяжелы, не легче паровых.

Для сравнения тракторов этого времени приводим ниже табл. 5, в которой даны сведения о мощности и весе тракторов<sup>1)</sup>, пользовавшихся распространением в б. России.

Чтобы не делать большой ошибки, подбираем, так сказать, машины эквивалентные по мощностям.

Таблица 5

Название или фирма	Мощность л. с.	Вес кг (рабочий)	Средний вес кг на 1 л. с.
I. Моторные тракторы			
„Ойль-Пуль“ . . . . .	60	12500	} 221,5 кг
„Биг-4“ . . . . .	50	10700	
„Могул“ . . . . .	45	10200	
„Гарт-Парр“ . . . . .	45	10000	
Avery . . . . .	45	9000	
„Биг-Фор“ . . . . .	40	10700	
II. Паровые тракторы			
„Аванс“ . . . . .	65	13350	} 215,6 кг
Мас - Laren . . . . .	55	10200	
„Ланц“ . . . . .	55	10800	
„Ланц“ . . . . .	40	9030	
„Рустов - Проктор“ . . . . .	40	10150	
„Рансом“ . . . . .	40	10150	

<sup>1)</sup> Данные взяты из следующих источников:

1. Отчет жюри международного конкурса в Шассаре 25—27/IX 1913, стр. 24—60; „Изв. Бюро с.-х. мех.“, вып. IV, 1914.

2. Выяснение экономичности работы паровых и нефтяных тракторов по данным Херсонского земства, стр. 73—98, „Изв. Б. с.-х. мех.“, вып. IV, 1914.

3. М. Ринжельман, Конкурс тракторов в Тунисе, стр. 173, вып. V и VI, „Изв. Б. с.-х. мех.“, 1916.

4. КATALOGИ.

Легко видеть из таблицы, что паровые тракторы этого периода были тяжелы (215,6 кг/л. с.), моторные же — еще тяжелее (221,5 кг/л. с.).

Перед нами — замечательная картина: еще недавно — каких-либо 20 лет тому назад — моторные тракторы были относительно тяжелее паровых и несравненно тяжелее современных моторных.

Так же точно изменились весовые характеристики и других самоходов (грузовиков, легковых машин, автобусов, танков).

И нет никаких сомнений в том, что модернизация современных самоходов, в том числе и паровых, сделает последние настолько легкими, что вес их будет только необходимым и достаточным для того, чтобы удовлетворить требованиям тягового порядка.

Вторым недостатком, часто указываемым в отношении паровых самоходов всех марок, является необходимость *разогрева котла* перед пуском, или, так называемая, „первая растопка“. Период растопки для легких машин берет 45 секунд + 2 минуты; для машин средних 2 + 8 минут; для машин тяжелых 2 + 20 минут — все это в зависимости от типа паросилового агрегата и рода топлива.

По этому вопросу надо сказать, что первая растопка неизбежна, но она не причиняет таких тяжелых потерь во времени, как это часто изображается противниками парового самохода.

Обычно одновременно с разогревом котла в гараже идет и общая подготовка самохода к выходу на работу — осмотр, смазка, проверка и т. д., также занимающая некоторое время.

При зарядке же котла горячей водою, что имеет место в гаражах, обслуживающих парк из нескольких самоходов, время на поднятие пара может быть значительно снижено.

В качестве третьего недостатка обычно указывают необходимость периодической *промывки* котла и очистки его от золы и сажи. Эти операции над котлом неизбежны, точно так же, как и периодический осмотр и чистка двигателя внутреннего сгорания. Время на эти операции может быть также легко снижено при правильной организации: водоподготовки и водочистки — в целях уменьшения в воде веществ, способствующих образованию накипи; горячей промывки — по одному из известных способов (*Шильгана* и др.); продувки котлов — в целях удаления грязи и т. п.; продувки топки и огневых труб (паром, или сжатым воздухом) — в целях очистки последних от сажи.

## ОБЩАЯ СХЕМА СОВРЕМЕННОГО ПАРОВОГО САМОХОДА

Общая схема парового самохода представлена на фиг. 17, где буквами обозначены основные части рассматриваемой машины.

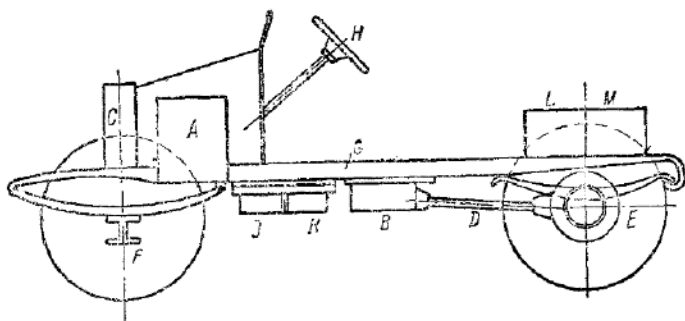
В соответствии с обозначениями называем эти части:

А — паровой генератор (котел);

В — паровая машина;

- С*— конденсатор;
- D*— карданная передача на задний мост;
- E*— задняя ось с конечной передачей к ведущим колесам и дифференциалом;
- F*— передняя ось с направляющими колесами;
- G*— рама;
- H*— рулевое управление;
- I*— насос для топлива;
- K*— насос для воды;
- L*— бак для воды;
- M*— бак для топлива.

В виду того, что коленчатый вал паровой машины связан непосредственной передачей с ведущими колесами, трогание самохода с места следует непосредственно за пуском пара в паровую машину.



Фиг. 17

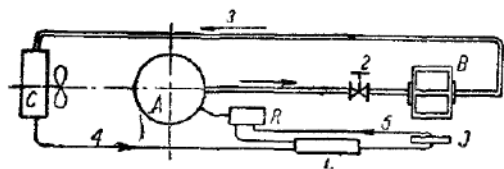
На фиг. 18 представлена простейшая схема оборота воды и пара в силовой установке парового самохода.

Пар из котла *A* идет по трубе *1* через паровпускной вентиль *2* к паровой машине *B*; отработав в последней, пар по трубе *3* поступает в конденсатор *C*, где конденсируется в воду и направляется по трубе *4* в водяной бак *L*, откуда насосами *I* по трубе *5* нагнетается в котел *A*. На пути воды расположен регулятор *R*, который пропускает воду в котел в моменты, когда последний нужно питать, либо же автоматически прекращает подачу воды в котел и направляет ее обратно в водяной бак *L*, если воды в котле достаточно по условиям работы.

Таким образом здесь имеем дело с замкнутым циклом и автоматическими процессами питания и регулирования питания.

Действие простейшего регулятора основывается на следующем: в котле, на уровне зеркала воды помещается трубка, соединенная с запорным клапаном, который и приводится в действие, как только трубка начинает омываться водой. У более совершенных машин применяется термостат, описание которого дано ниже.

Схема питания жидким топливом представлена на фиг. 19. Согласно этой схеме в топливном баке *М* при помощи насоса *N* поддерживается давление около 0,25 ат, благодаря чему топливо поступает в поплавковую камеру *P*, от которой идет к горелке *S* под влиянием разрежения, создаваемого вентилятором *T*, посылающим в топку воздушную струю. Число оборотов вентилятора регулируется посредством особого прибора, действующего в соответствии с давлением пара в котле, и таким



Фиг. 18

образом пропорция между топливом и воздухом может быть автоматической и хорошо сохранена.

Эта схема присуща далеко не всем паровым самоходам и приводится нами только для образца.

Вообще говоря, имеется ряд разнообразных схем.

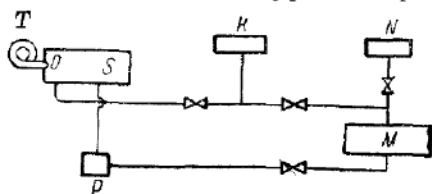
Эти несложные устройства позволяют автоматически получать: требуемую форсировку котла; давление пара на нужной высоте и не выше нормы для данного котла и т. п.

Для растопки котла воздух нагнетается в топливный бак ручным воздушным насосом *K* и поступает в топку по отдельному трубопроводу, по которому тем же насосом *K* нагнетается и требуемый воздух.

Зажигание такого карбюризованного топлива может быть произведено при помощи электрической искры, получающейся от специальной катушки и аккумулятора, что часто и практикуется; в этом случае, как только огневая коробка (топка *O*) прогреется, — электрический запал выключается.

Такова основная простейшая схема типа Undertype, который является принципиально наиболее актуальным.

В целях конкретизировать вопрос ниже приводим две схемы современных паровых самоходов Undertype<sup>1)</sup>: первая из них (фиг. 20) принадлежит паровому 120-сильному легковому автомобилю завода

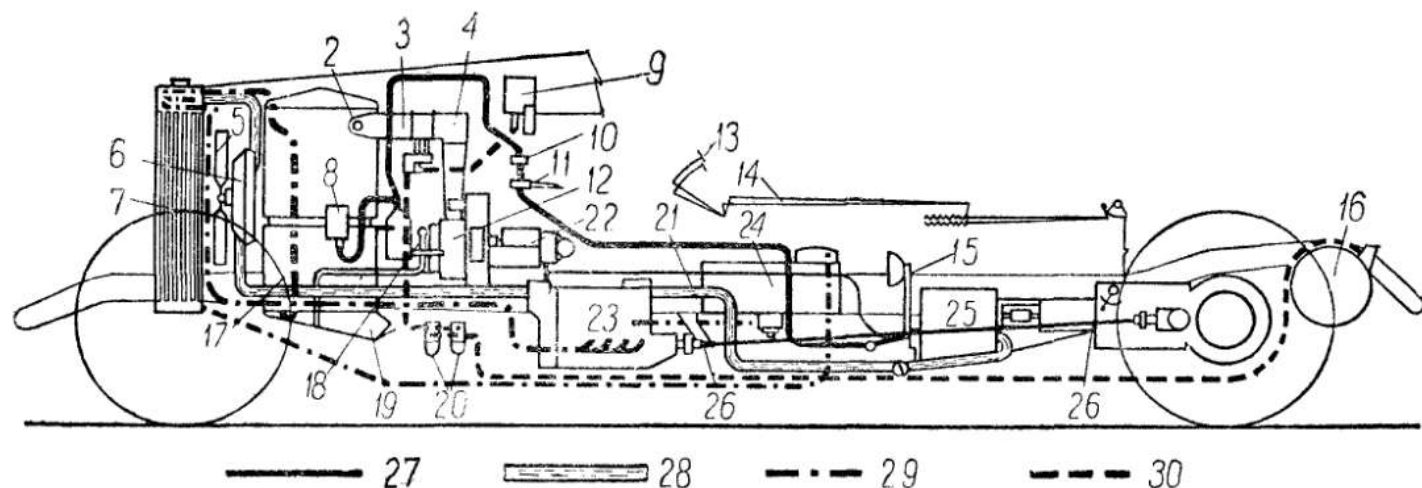


Фиг. 19

„Henschel & „Sohn“ (конструкция „Добль“), а вторая (фиг. 21) — паровому автобусу того же завода.

Приводя эти схемы с надписями на них, поясняющими название или назначение узлов, мы позволяем себе не делать подробных описаний и ограничиваемся несколькими замечаниями по этим схемам.

<sup>1)</sup> Imfeld K. и Roosen R., Neue Dampffahrzeuge, V. D. I., Bd 78, № 3, 21/I 1934, стр. 66.



Фиг. 20

1—подогреватель, 2—зажигательная свеча, 3—горелка, 4—воздушный канал, 5—вентилятор, 6—турбина отработанного пара, 7—конденсатор, 8—регулятор, 9—топливный бочок (добавочный), 10—дроссельный клапан, 11—педаль для управления паром, 12—воздуходувка, 13—рычаг наполнения, 14—привод парораспределения, 15—фара, 16—топливный бак, 17—парогенератор (паровой котел), 18—предохранительный клапан, 19—канал отходящих газов, 20—топливные насосы, 21—смазочный трубопровод, 22—электромотор, 23—питательный насос (водяной), 24—водяной ящик, 25—паровая машина, 26—приводной валок питательных насосов, 27—свежий (острый) пар, 28—отработанный пар, 29—вода, 30—топливо



Котел здесь представляет собою непрерывный змеевик, расположенный в передней части шасси, под капотом. В целях осуществления теплопередачи противотоком форсунки расположены вверх, а подача воды в котел выполнена снизу. Отработанные газы выводятся в нижней части машины по специальному выхлопному коробу.

Парогенератор регулируется автоматически, в силу чего установка не нуждается в каких-либо аккумулирующих устройствах и питательная система ограничивается включением в нее бака емкостью в 10 л, чего достаточно для питания 80-сильной машины автобуса.

Пар по гибкому трубопроводу поступает в паровую машину через регулируемый ножной педалью паровой вентиль.

Отработанный пар поступает в переднюю часть автомобиля и приводит во вращение две паровых вспомогательных турбинки, одна из которых обслуживает вентилятор первичного воздуха, а другая — вентилятор воздушного конденсатора.

Вода в парогенератор подается поршневым паровым насосом, к которому имеется дополнительный резервный привод, работающий от заднего моста.

Дутьевой вентилятор нагнетает первичный воздух через форсунки в верхнюю часть топочной камеры.

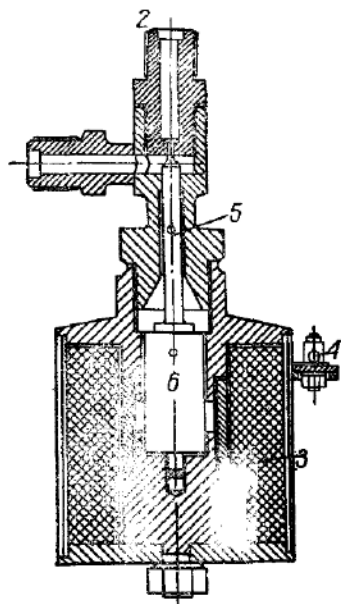
Воздух посредством эжектирующего сопла засасывает горючую смесь, воспламеняемую электросвечой.

При пуске машины дутьевой вентилятор приводится во вращение небольшим электромотором.

Питательная вода нагревается в системе противотока, проходя под принудительной циркуляцией через два водоподогревателя и нижнюю часть парогенератора; следовательно, вода подвергается подогреву, испарению и перегреву.

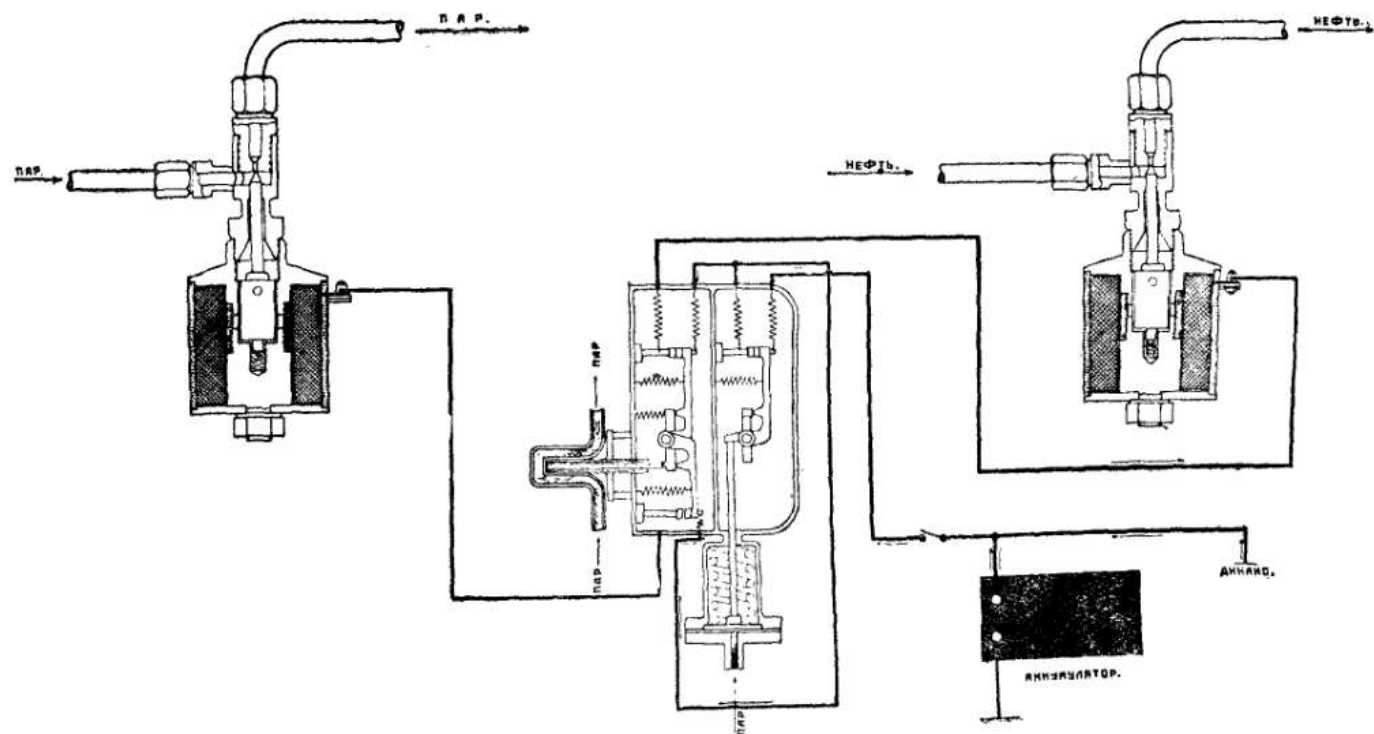
Давление и температура перегреваемого пара регулируются под действием импульсов, идущих от парового котла к термостату и регулятору.

Термостат работает по принципу использования разности линейного расширения железной трубки, находящейся в паровом пространстве, и кварцевого стержня; регулятор давления работает посредством мембраны. Термостат и мембрана скомбинированы в одну конструкцию, являющуюся универсальным регулятором.



Фиг. 22

Магнитный вентиль. 1—впуск пара, 2—выход пара, 3—катушка, 4—подвод тока, 5—шпindel клапана, 6—втулка клапана



Фиг. 23

Принцип действия такого регулятора следующий: в начале работы давление пара может быть  $p=100$  ат при температуре  $t=450^{\circ}\text{C}$ , если давление, положим, упало до 95 ат, то регулятор автоматически включает топку; если повысилась температура перегрева, положим, до  $460^{\circ}$ , то термостат выключает топку, причем водяной насос продолжает работу.

С целью предупредить сильные колебания в работе котла, применяется промежуточный отбор пароводяной эмульсии из средней зоны змеевиковых труб и подача ее байпасом в конечную зону змеевикового перегревателя (впрыскивание).

Передача импульсов механизмам и регулирующим вентилям производится через электроконтакты; в момент включения топочной камеры электросвечи, моторы топливных насосов и дутьевого вентилятора получают ток от аккумулятора, а паровой поршневой насос получает пар посредством магнитного вентиля.

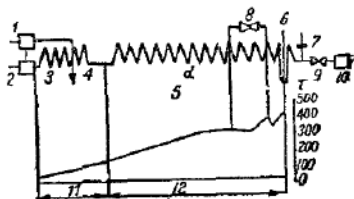
Схема включения паротурбинного привода дутьевого вентилятора предусматривает установку вентиля для перепуска отработанного пара из паровой машины непосредственно в магистраль конденсатора, минуя паровую турбинку вентилятора; это выполняется в том случае, когда регулятор должен выключить топочную камеру.

Перепускной вентиль управляется магнитным регулятором, схема которого представлена на фиг. 22 (стр. 39).

На фиг. 23 представлена схема регулирования, разработанная студ. Одесского индустриального института к проекту парового трехосного грузовика. В этой схеме центральной место занимает термостат — мембрана, замыкающие и размыкающие ток к магнитным регуляторам топлива и пара. После всего, сказанного выше, действие этого устройства понятно без подробных описаний.

В заключение приводим схему парового котла и график температур (фиг. 24) питательной воды и пара парогенератора (котла) автомобиля „Добль“<sup>1)</sup>, позволяющую судить о расположении температур в системах, подобных рассмотренной выше.

У самоходов Overtype схема несколько иная; она весьма сходна со схемой локомотива и паровоза; в силу того, что эти схемы широко известны, мы их не рассматриваем тем более, что схема легко вспоминается при самом беглом взгляде на самоходы этого типа, рассматриваемые ниже подробно.



Фиг. 24

Схема парового котла и график температур питательной воды и пара. 1—паровый цилиндр, 2—водяной цилиндр, 3—подогреватель I, 4—подогреватель II, 5—паровой прямооточный котел (парогенератор), 6—термостат, 7—регулятор давления, 8—регулирующая перегрева, 9—паровой вентиль, 10—паровая машина, 11—подогреватель, 12—паровой котел.

<sup>1)</sup> „Техника“, № 56 (323), 12/VI 1934.

## ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ К ОСНОВНЫМ ТИПАМ

Как мы уже указывали, все паровые самоходы, независимо от их вида и назначения, могут быть разделены на два основных типа или класса: *Overtype* и *Undertype*.

*Самоходы Overtype* являются более старой конструкцией и предназначаются главным образом для грубой, тяжелой работы в плохих дорожных условиях.

В большинстве случаев самоходы этого типа имеют: котлы локомотивного или паровозного типа с тихоходной машиной на спинке котла; цепную передачу к ведущим колесам; колеса с железными ободьями и цепное рулевое управление.

Небольшая, сравнительно, часть самоходов этого типа, предназначенная для городской работы, снабжается плотнорезиновыми шинами и рулевым управлением *Аккермана*, — автомобильного типа.

Котлы самоходов этого типа горизонтальные и вырабатывают обычно пар низкого ( $p < 22$  ат) давления.

Скорости обычно невелики ( $v < 50$  км/час).

*Самоходы Undertype* представляют собою более новую конструкцию, появившуюся в результате применения повышенного ( $p = 17 \div 30$  ат) и высокого ( $p = 30 \div 100$  ат) давления пара и стремления конструкторов: приблизить конструкцию самоходов к конструкции моторных самоходов; уменьшить габаритные размеры паровых агрегатов и всего самохода в целом; уменьшить общий вес самохода и удельный вес на одну лошадиную силу установленной на нем мощности.

Самоходы этого типа предназначаются как для городской, так и для междугородной работы.

Обладая высокими скоростями (до 80 км/час — у грузовиков и тягачей, до 150 км/час — у легковых машин), имея колесные ходы почти всегда на резиновых шинах, имея часто ходы большой проходимости (3 + 4 - осные), — самоходы этого типа имеют машины, отделенные от котлов, и рулевое управление автомобильного типа.

Как *Overtype*, так и *Undertype* почти всегда снабжаются дифференциалом, который располагается или в конечной передаче, или у ведущих колес, или, наконец, в коленчатом валу паровой машины.

Оба типа самоходов, исключая легковые автомобили, часто снабжаются: тяговыми лебедками, шкивами для работы на ремень, хорошим рессорным подвешиванием, гитчами (приспособлениями для прицепов) и т. д.

Оба типа иногда имеют „Power-Take-of“ для управления орудиями, следующими на прицепе.

Оба типа снабжаются кузовами самого различного вида — в соответствии с назначением.

Таковы общие характеристики типов.

Ниже, рассматривая отдельные узлы и детали самоходов и

конструкции отдельных самоходов в целом, мы — удобства ради — располагаем материал в следующих самостоятельных разделах:

Паровые котлы.

Паровые машины.

Экипаж.

Описание и размеры отдельных самоходов.

Теоретические соображения и материалы к расчетам.

## ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

### ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДАННЫЕ

Условия и обстановка работы паровых самоходов предъявляют очень высокие требования к силовым агрегатам последних.

В частности, к паровым котлам или, как их часто называют, паровым генераторам, предъявляются следующие основные требования:

- а) Надежность работы.
- б) Экономичность.
- в) Простота обслуживания и доступность производства ремонта простыми средствами.
- г) Удобство при эксплуатации держать в чистоте поверхность нагрева и поверхность испарения.
- д) Приспособляемость к сжиганию разного вида топлива.
- е) Механическая прочность.
- ж) Быстрота разогрева.
- з) Большая паропроизводительность и легкое изменение пределов производительности.
- и) Определенный и притом минимальный габарит, поскольку размеры котла ограничиваются: с одной стороны — шириной колеи или, вернее, хода, с другой — определенным расстоянием от поверхности дороги до наиболее низкой точки самохода (так называемый „клиренс“), с третьей — продольной базой самохода.

к) Наименьший возможный вес.

л) Высокий коэффициент полезного действия.

Эти требования, среди которых есть весьма тяжелые, направляют конструкторскую мысль на применение легких котлов высокого давления, среди которых наиболее заманчивыми являются прямоточные котлы большой паропроизводительности.

Паровые котлы современных самоходов можно классифицировать следующим образом:

а) *По величине давления пара* — на котлы: низкого ( $p = 8 \div 17$  ат), повышенного ( $p = 17 \div 30$  ат) и высокого ( $p = 30 \div 100$  ат) давления.

б) *По характеру вырабатываемого пара* — на котлы: насыщенного и перегретого пара.

в) *По характеру парообразования* — на котлы: медленного и быстрого (котлы „флаш“) парообразования.

г) По роду топлива — на котлы для твердого и жидкого топлива.

д) По характеру питания — на котлы: без подогрева воды и воздуха, с подогревом воды и воздуха, с неавтоматическим и автоматическим питанием.

е) По конструкции паровые котлы могут быть разделены на следующие разновидности:

- 1) локомотивные и паровозные,
- 2) „двухконечные“ — локомотивные („double-ended locomotive type“) по английской терминологии,
- 3) вертикальные — водотрубные,
- 4) вертикальные — огнетрубные,
- 5) горизонтальные — огнетрубные,
- 6) прямоточные — змеевиковые.

Ниже рассматриваем частные вопросы, касающиеся котлов самоходов.

## ДАВЛЕНИЕ ПАРА И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ

Давление пара и вообще параметры пара, вырабатываемого котлами самоходов, весьма разнообразны. В этой области стандарты пока отсутствуют и потому применяемые давления находятся в пределах:

$$p = 9,8 \div 100 \text{ ат.}$$

Помещаемая на стр. 46 табл. 6 содержит данные для характеристики этой стороны вопроса.

Наиболее удобным и по тепловым, и по весовым, и по конструктивным соображениям является высокое давление, роль и значение которого общеизвестны, хотя таковые часто и переоцениваются. Поэтому считаем небесполезным напомнить о свойствах пара высокого давления.

Впервые пар высокого ( $p = 35—70$  ат) давления предложил Perkins (в 1820—1830 гг.), который спроектировал и паровую машину для  $p = 98$  ат с перегревом до  $t = 500^\circ \text{Ц}$ . В 1859 г. спроектирована паровая машина тройного расширения ( $p = 48$  ат); в 1880 г. — такая же машина для  $p = 35$  ат; в 1897 г. Де-Лаваль применил пар с давлением  $p = 120$  ат.

Однако все эти машины не дали хороших результатов, ибо проектировались для работы на выхлоп и кроме того давали большие побегі пара через кольца, сальники и т. п., с чем в то время бороться не умели.

Применение пара высокого давления на транспорте относят к 1925 г., когда В. Шмидт спроектировал паровоз с давлением  $p = 60$  ат<sup>1)</sup>.

Исследование машины паровоза показало выгодность применения пара высокого давления, каковой начал вскоре применяться и в котлах паровых автомобилей („Станлей“,  $p = 33$  ат).

<sup>1)</sup> Козакевич Е. П. Паротяги высокого тиску. Днепрпетровськ, 1932.

Таблица 6

Тип само- хода	Конструкция котла и фирма	Давление пара ат	Примечание
Overtypе	Локомотивный и паро- возный :		
	„R. Wolf“ . . . . .	10	Машины одиноч- ного расширения Машины компаунд
	„Lanz“ . . . . .	12	
	„I. Fowler“ . . . . .	9,8	
	„I. Fowler“ . . . . .	14	
	Foden“ . . . . .	16,2	
Undertype	„Iorkshire Co“ . . . . .	15	
	Вертикальный водотруб- ный		
	„Atkinson“ . . . . .	16,2	
	„Garrett“ . . . . .	17,6	
	Вертикальный огнетруб- ный		
	„I. Fowler“ . . . . .	15,8	
	Горизонтальный водо- трубный		
	„Bryan“ . . . . .	42,5	
	Горизонтальный огне- трубный		
	„Dilling Co“ . . . . .	42,4—49,2	
	Серполе (флаш)		
	„Sind and Brucks“ . .	53—70	
	„Duble“ . . . . .	52,5—100	

Общие свойства пара высокого давления легко выяснить путем нескольких сравнений.

Так, если сравнить теплосодержание пара при давлениях 60 и 15 ат, например, при  $t = 400^\circ \text{C}$ , то мы получим соответственно 760 и 775 кал/кг. Иначе, при *выработке пара высокого давления затрата тепла на образование 1 кг его уменьшается.*

Если полученный таким образом пар заставить работать в машине с конденсацией и доводить расширение пара до давления, например, 0,05 ат, то тепло, которое может быть преобразовано в работу при идеальном процессе, составит:

$$\begin{aligned} \text{при } p = 60 \text{ ат и } t = 400^\circ \text{C} & - 282 \text{ кал/кг,} \\ \text{„ } p = 15 \text{ „ } t = 400^\circ \text{C} & - 249 \text{ „ „} \end{aligned}$$

Иначе, так называемый тепловой перепад в первом случае на 33 кал, или на 13%, больше, чем во втором. Отсюда второе свойство пара высокого давления — *увеличение давления повышает тепловой перепад и увеличивает в машине без потерь термический к. п. д.*

Если представить себе, что расширение пара в цилиндре идет от 60 до 0,05 ат без конденсации, то для уменьшения конденсации в цилиндре и получения сухого процесса нужна начальная температура порядка  $t \approx 650^\circ \text{C}$ . Так как такие темпе-

ратуры невозможно допускать по соображениям неустойчивости при них смазок и из-за криппа в материале машины, то, в целях обеспечить сухой процесс в машинах с конденсацией, следует применять один или несколько промежуточных перегревов.

При увеличении давления теплосодержание жидкости увеличивается, а теплосодержание пара уменьшается; в силу этого расход тепла на парообразование в котле уменьшается. Ясно, что это обстоятельство указывает на *выгодность подогрева питательной воды и притом подогрева ее до возможно более высоких температур.*

С увеличением давления пара возрастает возможность применять подогрев воды при помощи так называемого *промежуточного отбора пара.*

С ростом давления улучшаются условия работы стенок пароперегревателя; по данным Мюнцингера при  $p = 100$  ат разница температур стенки перегревателя и пара *в три раза меньше*, чем при  $p = 15$  ат.

Наконец, вследствие меньшей разницы удельных объемов пара и воды интенсивность циркуляции при паре высокого давления *уменьшается*, вследствие чего необходимо принимать меры к улучшению циркуляции.

Отметим еще, что термический к. п. д. в установках высокого давления тем выше, чем выше начальное давление.

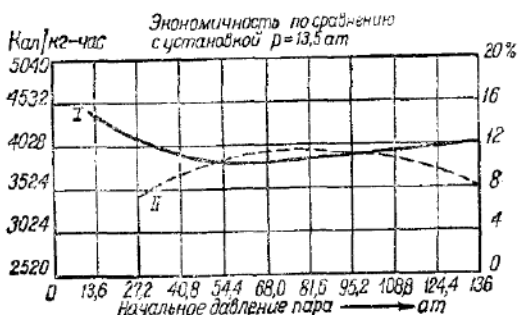
Пользуясь данными для стационарных установок, приводим ниже <sup>1)</sup> несколько зависимостей, интересных для пара высокого давления.

На фиг. 25 представлены зависимости между давлением и теплосодержанием (сплошная кривая I) для пара с  $t = 372^\circ \text{C}$  и зависимости между давлением и экономичностью (пунктирная кривая II), данные в процентах по сравнению с установкой, имеющей давление  $p = 13,5$  ат.

Кривые даны для случая, когда имеется конденсация и отсутствует регенеративный подогрев.

Между прочим отметим, что кривая для установки с низким давлением (левая точка для  $p = 13,6$  ат) показывает чрезвычайно хорошую работу установки, что имеет место при введении ряда мероприятий, как подогрев воды и воздуха отходящими газами и т. п.

Как можно видеть из диаграммы, изменение теплосодержа-

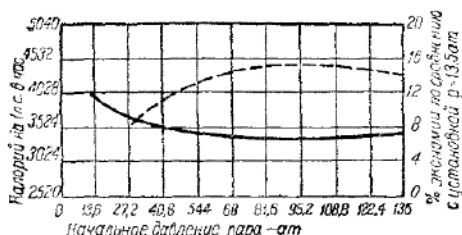


Фиг. 25

<sup>1)</sup> Ямченко М. Будущая конструкция паровоза, „Реконстр. трансп. № 11 1931, стр. 21 - 23.

ния в интервале давления  $p = 68 \div 136$  ат составляет около 78 кал, между тем, как для интервала  $p = 13 \div 68$  ат оно составляет 502 кал.

Диаграммы (фиг. 26) характеризуют влияние регенеративного (промежуточного) перегрева: при паре с параметрами  $p = 136$  ат и  $t = 372^\circ \text{C}$  применение такого перегрева дает экономию в 370 кал, при  $p = 136,1$  ат и  $372^\circ \text{C}$  — экономию в 560 кал. На фиг. 26 даны зависимости между давлением и расходом тепла на одну



Фиг. 26

регенеративного подогрева нецелесообразно; в случае же неприменения повторного подогрева наиболее приемлемыми надо считать давления порядка  $p = 55 \div 65$  ат с подогревом.

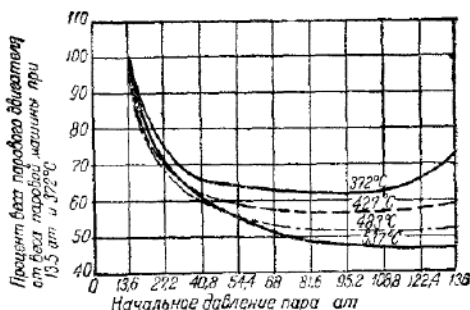
Практически, вследствие серьезных затруднений с конденсацией, в обоих случаях пределы близки к  $p = 34$  ат, ибо, как известно, при  $p > 34$  ат содержание воды в паре с давлением, близким к давлению выхлопа, слишком велико.

Положение меняется с увеличением начальной температуры; так, если принять  $t \approx 540^\circ \text{C}$ , то практический предел давления пара поднимается, примерно, до  $p = 68$  ат без применения повторного подогрева.

При сравнении удельных объемов пара высокого и низкого давления оказывается, что удельный объем пара высокого давления очень мал. Так, напр., при  $p = 13,6$  ат и  $t = 372^\circ \text{C}$  один кг пара занимает объем  $\omega = 0,21 \text{ м}^3$ ; при  $p = 95,6$  ат и  $t = 372^\circ \text{C}$  соответственно  $\omega = 0,024 \text{ м}^3$ .

Это обстоятельство позволяет сделать при паре высокого давления значительно меньшими все паронесущие части котла и машины.

Таким образом при проектировании котла решающими являются не только соображения чисто теплотехнического характера.



Фиг. 27

На диаграмме (фиг. 27) представлены изменения размеров паровых машин в зависимости от параметров ( $p$  и  $t$ ) применяемого пара, данные в процентах веса машин по отношению к весу последних для пара  $p=13,6$  ат и  $t=372^\circ\text{Ц}$ . Диаграмма показывает, что при  $p=100 \div 120$  ат и  $t=400^\circ \div 500^\circ\text{Ц}$  размеры машин уменьшаются на 40—50%. Это же самое имеет место и для остальных паронесущих частей.

Все эти соображения и выдвинули на первое место Undertype с паросиловой установкой высокого давления.

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОТЛОВ

Здесь главным образом мы рассматриваем вопрос о материалах и нормах для котлов высокого давления. Что касается материалов и норм для котлов с  $p < 22$  ат, то их можно разыскать почти во всех справочных книжках и курсах деталей машин, а также в курсах паровых котлов<sup>1)</sup>, куда и отсылаем.

Применение пара высокого давления и высоких температур ставляет серьезно обдумать вопрос о материалах.

В настоящее время принято считать, что трубы из углеродистой стали вполне пригодны для производства пара  $t=425 \div 457^\circ\text{Ц}$ , если температура самой трубы не очень высока.

Если пар в момент выхода в пароперегреватель совершенно свободен от кислорода, то предельной температурой трубок может быть принята  $t=510^\circ\text{Ц}$ .

При высокой влажности пара кислород дает весьма сильную реакцию на металл, вызывая коррозию.

Для частей котлов, работающих при высоком давлении и  $t=600^\circ\text{Ц}$ , рекомендуются стали, легированные хромом и никелем. Равным образом применимы нержавеющие стали.

В силу сказанного можно считать, что при трубах из углеродистой стали можно ограничиться температурами пара порядка  $p=430 \div 450^\circ\text{Ц}$  и принять, что весьма подходящим давлением пара при них будет (с термической точки зрения) давление порядка  $p=55$  ат.

Технические условия на постройку котлов высокого давления<sup>2)</sup> предусматривают применение следующих материалов.

I. Углеродистая сталь, применяемая в трех сортах:

KVI	с	врем.	сопрот.	разрыву	$\sigma_B = 34 \div 44$	кг/мм <sup>2</sup>
KVII	"	"	"	"	$\sigma_B = 41 \div 50$	"
KVIII	"	"	"	"	$\sigma_B = 47 \div 60$	"

Для этой стали зависимость между временным сопротивлением  $\sigma_B$  и удлинением  $\delta$  определяется данными помещаемой ниже табл. 7.

<sup>1)</sup> Шпалькгавер Р., Шнейдерс Ф., Рюстер А. Паровые котлы, М. 1932.

Предтеченский А. А. Современные требования, предъявляемые к материалам для котлостроения, „Изв. теплот. съездов“, № 3/26, 1927.

<sup>2)</sup> Техн. усл. на постройку и поставку котлов высокого (выше 22 ат) давления. Ленинград, 1930.

Таблица 7

$\sigma_B$ кг/мм <sup>2</sup>	35	36	37	41	43	44	45	46	47	50	56	60
$\delta$ %	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16

*II. Никелевая сталь, применяемая в двух сортах:*

КНИ—с содержанием около 3% Ni, имеющая  $\sigma_B = 41 \div 50$  кг/мм<sup>2</sup> и  $\delta = 16\%$ .

КНИИ—с содержанием около 5% Ni, имеющая  $\sigma_B = 47 \div 60$  кг/мм<sup>2</sup> и  $\delta = 13\%$ .

В качестве материала для бесшовных цилиндров, изготовленных как одно целое с днищем из одной цельной болванки, рекомендуются:

*I. При давлениях  $p \leq 40$  ат — низкоуглеродистая котельная сталь с  $\sigma_B = 40 \div 51$  кг/мм<sup>2</sup>, с пределом текучести  $\sigma_p = 12 \div 22$  кг/мм<sup>2</sup> и удлинением  $\delta = 27 \div 20\%$ .*

*II. При давлениях  $p = 40 \div 60$  ат — никелевая 3% сталь с механическими свойствами, определяемыми  $\sigma_B = 44 \div 52$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B = 28$  кг/мм<sup>2</sup> и  $\delta = 28 \div 24\%$ .*

При подборе материалов надо обращать особое внимание на жароупорность (крипоустойчивость) и коррозиоустойчивость материалов<sup>1)</sup>.

## КОТЛЫ ПАРОВОЗНОГО ТИПА

Котлы паровозного типа с дымогарными трубками принадлежат, главным образом, самоходам класса Overture и являются котлами старейшего происхождения с точки зрения конструкции.

При всех вариантах котлы этого типа состоят из одинаковых элементов, представление о которых дает более или менее подробное описание одного из котлов.

Рассмотрим несколько конструкций котлов этого типа.

### А. Котел завода R. Wolf, Magdeburg

Продольный и поперечный — по топке — разрез этого котла представлен на фиг. 28.

Как можно видеть, котел состоит из топки А, цилиндрической части В, дымовой коробки С и дымогарных трубок D.

Топка состоит из внутренней, *огневой коробки* и наружного *кожуха*, связанных посредством боковых и — при крупных размерах топки — потолочных *связей*; в ряде конструкций коробка

<sup>1)</sup> Кудрявцев И. В. Крипоустойчивость сталей в котлах высокого давления. „НИИМАШ“, № 4, 1935.

и кожух связываются внизу посредством кованой *рамки*, закладываемой по периметру выреза поддувала (зольника) или по периметру низа огневой коробки. Потолочные связи, или анкерные балки, применяются обычно при плоском потолке огневой коробки; в случаях, когда потолок (нёбо) топки овальный или волнистый, можно обойтись и без этих креплений.

В лобовом листе топки сделано шуровочное отверстие для загрузки топлива, а внутри огневой коробки имеется *сводик*, часто заменяемый плоским *кипятильником*, выполняющим роль сводика. Колосниковая решетка помещается внизу огневой коробки и получает как размеры поверхности, так и расстояние от неба топки, в зависимости от вида топлива и форсировки котла.

Топка, в зависимости от вида топлива, выполняется:

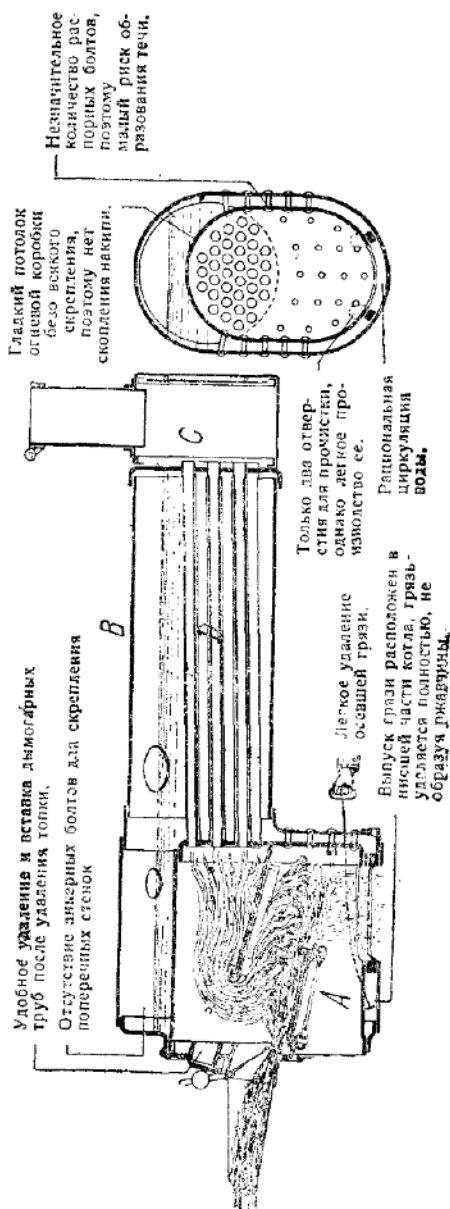
а) с *верхней загрузкой* (фиг. 28) при таком топливе, как, например, солома,

б) с *нижней загрузкой* (фиг. 29), как это имеет место при топливе: камыше, кукурузных листьях и т. п.

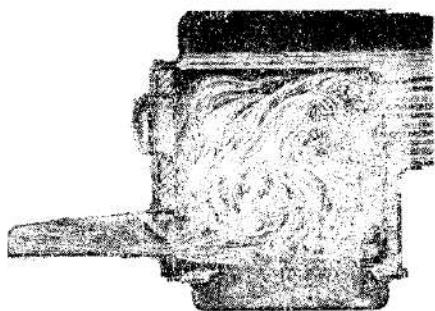
Топка может быть приспособлена и для других видов топлива, как, например, для кускового торфа (фиг. 30), дров и угля (фиг. 31) и др., а равным образом и для жидкого топлива.

Цилиндрическая часть котла заполнена *дымогарными трубками*, которые крепятся (развальцовкой, на резьбе, приваркой и т. п.) в *трубных досках*, ограничивающих в торцах цилиндрическую часть в виде днищ.

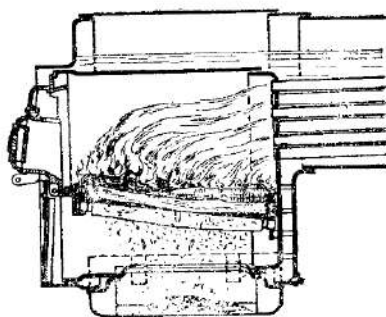
Дымовая коробка *С* несет на себе дымовую трубу, у осно-



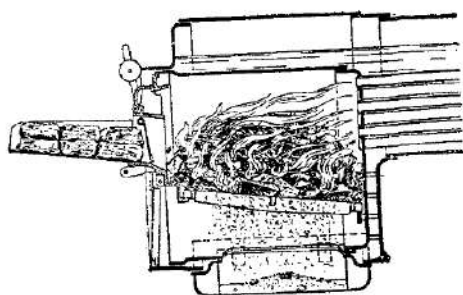
фиг. 28



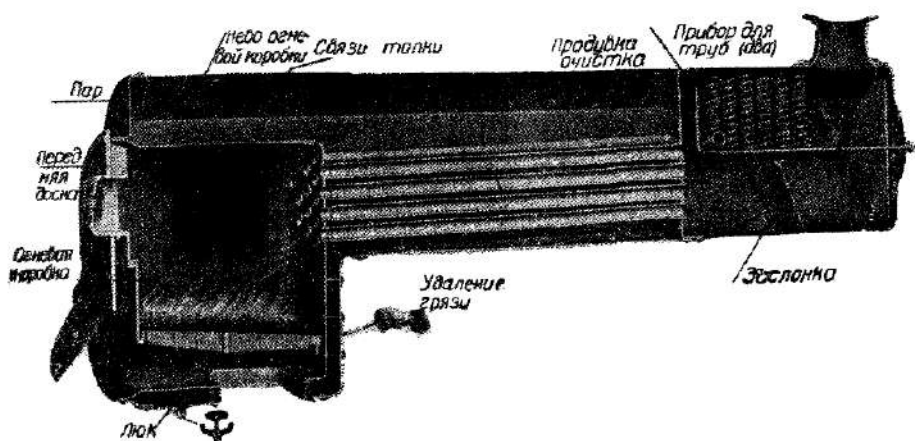
Фиг. 29



Фиг. 30



Фиг. 31



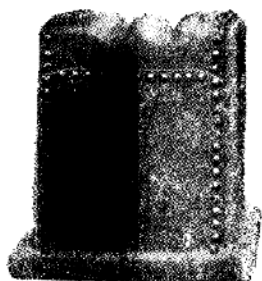
Фиг. 32

вания которой устраивается *сифон* для возбуждения тяги; внутри коробки расположены выхлопные трубы, конус для тяги, перегреватель и заслонки (на фиг. не показаны).

На фиг. 32 показан котел с трубчатым пароперегревателем и устройством для очистки (продувки) дымогарных труб от сажи.

Этот котел приспособлен для отопления каменным углем.

На фиг. 33 представлена фотография огневой коробки такого же котла завода „H Lanz,“ Mannheim, имеющая плоские боковые стенки и волнистый потолок <sup>1)</sup>; в стенках видны отверстия для связей.

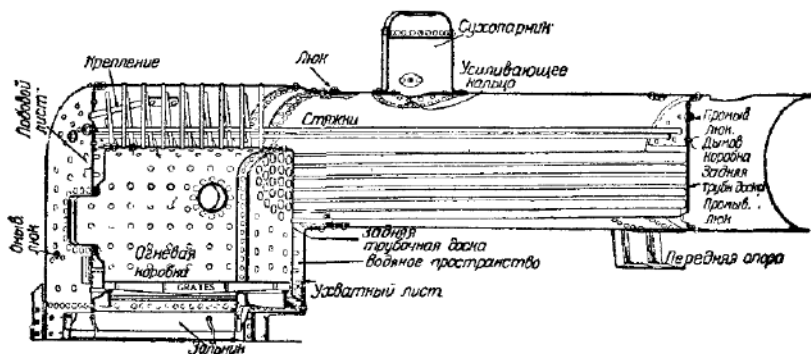


Фиг. 33

Внизу коробка отбортована для соединения с кожухом топки непосредственно, т. е. без топочной обвязочной рамки.

### Б. Котел завода „I. Case Threshing Machine Co.“ Racine, Wis. U. S. A.

Этот котел отличается от предыдущего наличием прямоугольной так называемой „бэльперовской“ топки (фиг. 34). На чертеже видны: крепление неба огневой коробки с кожухом посредством потолочных связей; крепление боковых стенок с лобовым

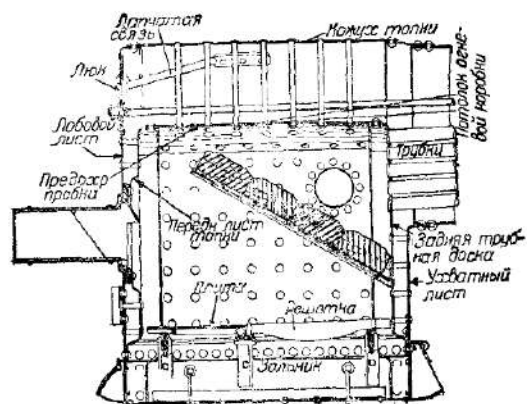


Фиг. 34

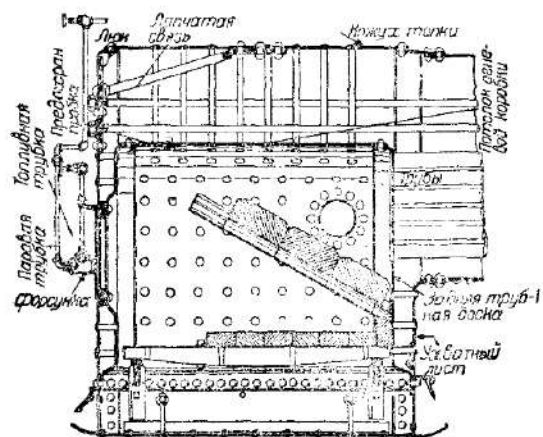
листом посредством косых связей, крепление трубных досок продольными связями, проходящими над дымогарными трубками и над огневой коробкой.

На фиг. 35 и 36 представлены топки для соломы и для жидкого топлива. Различие конструкций ясно без дополнительных описаний из чертежей.

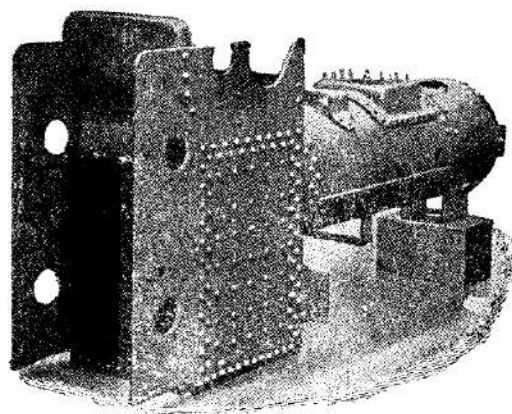
<sup>1)</sup> Николаев Г. А., проф. Результаты испытаний котла СА на Людиновском локомотивном заводе (расчеты волнистой топки), „НИИМАЗ“, № 4, 1935.



Фиг. 35



Фиг. 36

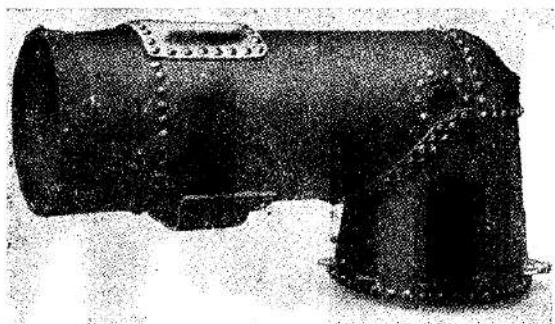


Фиг. 37

Внешний вид одного из английских котлов с прямоугольной топкой Бэльпера, очень похожей на только что рассмотренный, представлен на фиг. 37, где приведен котел завода Clayton & Shuttleworth Ltd., Lincoln, применяемый для тракторов мощностью 23/28 — 27/33 — 32/39 британских лошадиных сил (BHP).

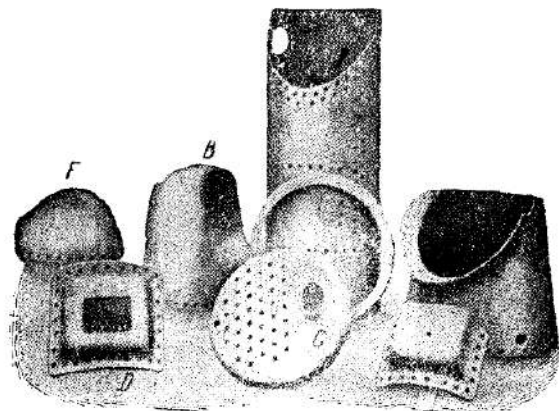
#### В. Котел завода „Robey & Co Ltd“, Lincoln

Представленный на фиг. 38 в общем виде и на фиг. 39 — деталями котел принадлежит к рассматриваемой группе котлов



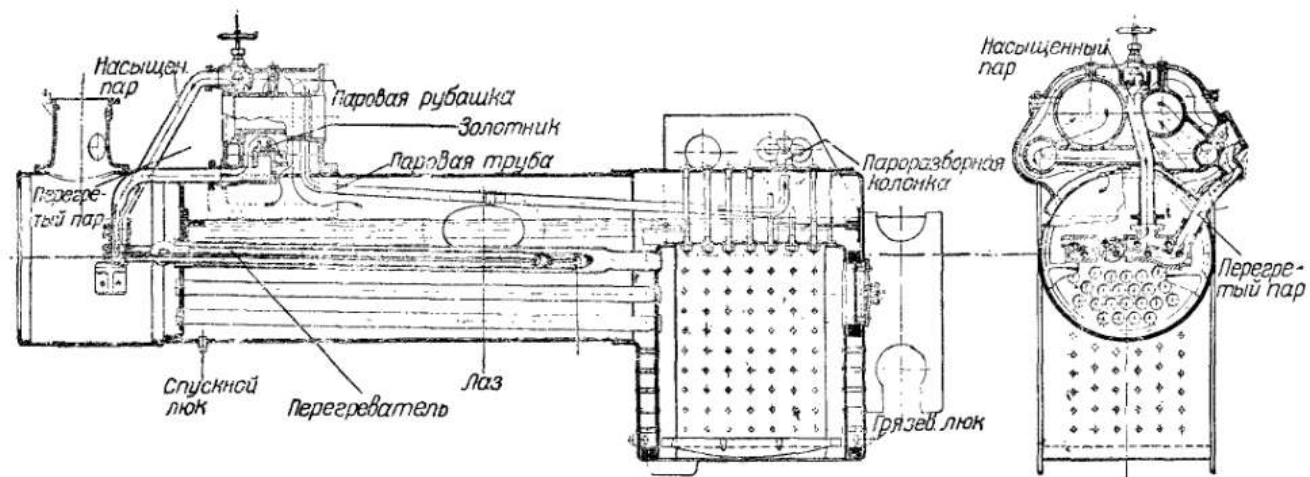
Фиг. 38

с дымогарными трубками и характеризуется несколько специальной раскройкой материала, приводящей к заклепочным швам,



Фиг. 39

расположенным несколько необычно (фиг. 38). Кожух топки этого котла имеет круглое поперечное сечение и сужается от зольника кверху, что фирма считает важным достоинством, обеспечивающим усиленную циркуляцию. Огневая коробка



Фиг. 40

(фиг. 39, дет. В) выполнена из одного куска металла штамповкой (прессовкой) без шва, как равно и некоторые другие детали (фиг. 39, С, D, E, F).

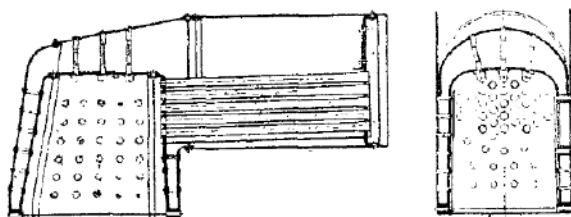
#### Г. Паровой котел завода Maschinenbau Ges. „Heilbronn“

Этот немецкий котел представляет собою типичнейший паровозный котел с прямоугольной топкой, снабженный типичным же перегревателем Шмида в жаровых трубах и паровыми коллекторами в дымовой коробке (фиг. 40).

Котел обслуживает паровую машину компаунд, располагаемую на спинке котла, мощностью до 300 л. с.

#### Д. Американский котел „Малл“

Представленный на фиг. 41 котел отличается широкой топкой, расширяющейся книзу; наклонный лобовой и шипельный



Фиг. 41

лист кожуха топки приближают котел к американскому типу „Wagon-Top“. Еще одна особенность характеризует этот котел — это то, что шуровочное отверстие выполнено не в лобовом, а в боковом листе, что сделано для того, чтобы обслуживать топку котла силами самого шофера без помощника.

#### ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ КОТЛОВ ПАРОВОЗНОГО ТИПА

Относительно котлов рассмотренного типа нужно сделать ряд следующих замечаний:

1. Котел и связанная непосредственно с ним паровая машина, обычно располагаемая на спинке котла, образуют вместе весьма компактную конструкцию.

2. Вследствие очень короткого паропровода от котла к машине, конденсация пара в паропроводе и падение давления в нем сведены до минимума.

3. Конструкция котлов этого типа по прочности может выдерживать весьма суровый режим работы в тяжелых дорожных условиях.

4. Ремонт, промывка и эксплуатация котла просты и недороги. Таковы достоинства котла.

Что касается недостатков, то они, в общем, следующие.

1. Котел недостаточно приспособлен к короткопламенному топливу (кокс, антрацит), если не имеется специального видоизменения топки.

2. Котел занимает на раме самохода много места и делает обзор дороги более плохим, нежели это имеет место при других котлах.

3. Вследствие горизонтального или слабо наклонного к дымовой коробке положения дымогарных трубок, уровень воды в котле при движении самохода по пересеченной местности имеет тенденцию обнажать передние концы трубок на подъемах, а на спусках — небо огневой коробки.

4. При расположении машины на спинке котла на последнюю передается значительная нагрузка и изгибающие моменты от действия сил в машине, зависящие от высоты оси цилиндров машины над спинкой котла и от отношения длины шатуна к радиусу кривошипа.

5. Задняя ось самохода при котлах паровозного типа обычно составляется из двух частей, запрессованных во фланцы из стального литья или цельнокованных; эти части, приклепываемые либо прикрепляемые на гужонах к боковым листам кожуха топки, как легко сообразить, создают изгибающие моменты в листах кожуха, передающиеся через эти листы на нижнее топочное кольцо (и вообще на швы), связывающие кожух с огневой коробкой и — через топочные связи — на топку. Это обстоятельство служит нередко причиной расстройств и течи швов. Недостаток этот в ряде конструкций устраняется тем, что задняя ось располагается позади топки в виде сквозной оси и не нагружает в этом случае топку.

6. Вес котлов этого типа сравнительно велик.

В смысле экономичности на первое место из котлов рассмотренного типа надо поставить котлы с прямоугольной топкой, а на второе — котлы с овальной топкой, к.п.д. которых, как показывают опытные исследования, на 3—5% ниже, чем у первых при работе в одинаковых условиях; в частности, при одинаковой загрязненности поверхности нагрева.

Относительные размеры котлов рассмотренного типа самоходов Overture могут быть характеризованы данными, помещенными ниже.

1. Рабочее давление пара по манометру:

$$p = 8 \div 18,5 \text{ ат.}$$

2. Величина полной поверхности нагрева на одну лошадиную силу эффективной мощности установленных машин:

$$\frac{H}{N_e} = 0,30 \div 0,35 \text{ м}^2/\text{л. с.}$$

3. Величина поверхности нагрева  $H_T$  топки по отношению к величине  $H$  полной поверхности нагрева:

$$\frac{H_T}{H} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{7}.$$

4. Величина  $R$  площади колосниковой решетки, выраженная через  $H$ , как через модуль:

$$R = (0,05 \div 0,033) H.$$

5. Отношение длины  $l$  дымогарных трубок к диаметру  $d$  последних:

$$\frac{l}{d} = 40 \div 50.$$

6. Отношение живого сечения  $R_0$  дымогарных трубок к площади  $R$  колосниковой решетки:

$$\frac{R_0}{R} = 0,09 \div 0,15.$$

Что касается абсолютных размеров котлов этого типа для самоходов, то несколько таких размеров для ориентировок дается нами в табл. 8.

Таблица 8

Фирма и тип Характеристика	Case тип фиг. 34	Case тип фиг. 34	Case тип фиг. 34	Maпп тип фиг. 41
Мощность самохода, л. с .	100	80	45	20
Давл. пара, ат . . . . .	11,5	10,5	10	14
Поверхн. нагрева, м <sup>2</sup> . . .	35,80	26,30	15,40	6,60
Поверхн. нагрева топki, м <sup>2</sup> .	5,05	3,85	3,05	1,60
Площадь колосниковой решетки, м <sup>2</sup> . . . . .	1,12	0,87	0,64	0,31
Диаметр дымогарных трубок . . . . .	2"	2"	2"	30 мм
Длина дымогарн. трубок .	100,5"	96,5"	84,5"	1400 мм
Число . . . . .	76	58	36	39

На стр. 60 помещаем еще табл. 9 данных, характеризующих котлы типичных самоходов фирмы Fowler различных марок.

Мы приводим последние данные потому, что самоходы Fowler у нас наиболее известны по ввозу до войны и во время войны; некоторые из них работают у нас до сих пор.

При расчетах паровых котлов этой группы рекомендуем принимать среднюю форсировку поверхности нагрева в пределах

$$Q = \frac{D}{H} = 30 \div 60 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Таблица 9

Характеристика	Марки самоходов „Fowler“						
	„Тигр“	„Геркулес“	„Аякс“	„Атлас“	„Малый лев“	„Большой лев“	„Сверхлев“
Тип котла . . . . .	П а р о в о з н ы й						
Давл. пара, ат. . . . .	14	14	14	14	14	14	14
Температ. пара, °Ц . . . . .	197	197	197	197	197	197	197
Поверхн. нагрева, м <sup>2</sup> . . . . .	5,3	7,2	8,1	12,7	13,1	14,1	14,1
Площадь колосниковой решетки, м <sup>2</sup> . . . . .	0,3	0,4	0,4	0,46	0,50	0,66	0,66
Паропроизводительность кг/м <sup>2</sup> час . . . . .	68,3	63,3	56,3	49,2	49,2	49,2	49,2
Обслуживаемая мощность машин, л. с. . . . .	29/33	36/40	41/45	48/53	53/59	67/76	70/80

Котлы должны допускать продолжительную перегрузку по крайней мере в 25% в соответствии с перегрузкой такого же порядка, допускаемой для паровых машин; кратковременную перегрузку (15—20 минут) — по крайней мере в 50%.

Это соображение позволяет определить крайнюю форсировку значением

$$Q_{\text{макс}} = 45 \div 90 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

## ДВУКОНЕЧНЫЙ ЛОКОМОБИЛЬНЫЙ КОТЕЛ

Этот котел („Double — ended Loco-Type“ — по английской терминологии) строится фирмой „The lorkshire Patent Steam Wagon Co“, Leeds, для самоходов этой же фирмы и сконструирован в целях объединить в одной конструкции достоинства вертикальных котлов и локомобильных котлов обычного типа<sup>1)</sup>.

Котел, представленный в современном виде на фиг. 42, обслуживает паросиловую установку грузовиков lorkshire — класса Undertype, получивших благодаря экономичности большое распространение на севере Англии.

Как можно видеть по фотографии (фиг. 42), котел имеет центральную огневую коробку, из которой горячие газы поступают по нижним дымогарным трубкам в две дымовые коробки, расположенные по концам цилиндрического корпуса котла. Обогнув расположенные в дымовых коробках пароперегреватели, о типе которых можно судить по фиг. 43, газы меняют направление и по верхним дымогарным трубкам выходят в центральный коллектор, откуда уже уходят в дымовую трубу.

<sup>1)</sup> A Steam Six — Wheeler with a Number of Notable Chassis Features, „The Commercial Motor“, май 8, 1928.

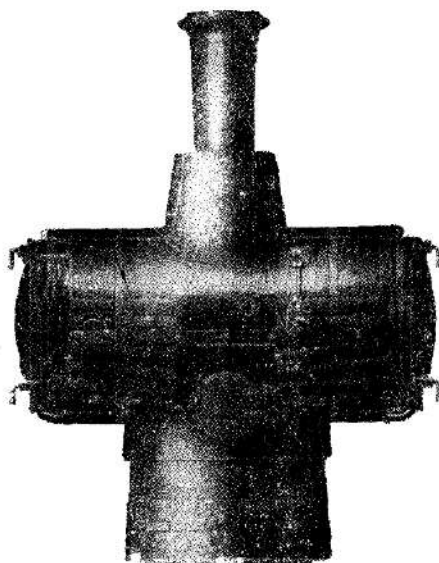
Котел имеет:

1. Полную поверхность нагрева  $H = 6,5 \text{ м}^2$ , из которых  $3,65 \text{ м}^2$  приходится на долю 76 коротких дымогарных трубок, а  $2,85 \text{ м}^2$  — на долю огневой коробки.

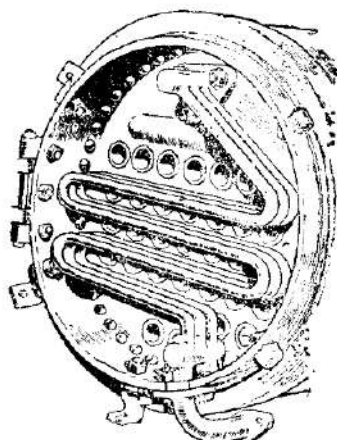
2. Площадь колосниковой решетки  $R = 0,32 \text{ м}^2$ .

3. Рабочее давление пара  $p = 15 \text{ ат.}$

4. Поверхность нагрева пароперегревателей (фиг. 43) составляет  $H_{\text{п}} = 1,30 \text{ м}^2$ .



Фиг. 42



Фиг. 43

Таким образом элементы котла характеризуются следующими соотношениями:

1. Отношение площади  $R$  колосниковой решетки к полной поверхности  $H$  котла:

$$\frac{R}{H} \approx \frac{1}{20,3} \approx 0,05.$$

2. Отношение поверхности пароперегревателей  $H_{\text{п}}$  к полной поверхности нагрева котла:

$$\frac{H_{\text{п}}}{H} \approx 0,20.$$

Поскольку котел снабжает паром вертикальную двучилиндровую паровую машину компаунд, имеющую:

ц. в. д. — 4,5"  
ц. н. д. — 7,5"  
ход поршней 8"

и развивающую при средней скорости самохода 19,8 км/час мощность  $N_e = 60 \text{ л. с.}$ , можно вывести еще одну характеристику, а именно:

3. Поверхность нагрева на одну лошадиную силу эффективной мощности машины:

$$\frac{H}{N_e} = 0,12 \text{ м}^2/\text{л. с.}$$

Наконец, при удельном расходе пара в 8,2 кг/л. с. легко определить, что паросъем составляет:

$$Q = \frac{D_0 \cdot N_e}{H} = \frac{8,2 \cdot 60}{6,5} = 75,7 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Котел имеет следующие особенности.

1. Центральное положение огневой коробки и короткие дымогарные трубки позволяют в качестве топлива применять кокс, что является для котла большим преимуществом по сравнению с рассмотренными выше котлами паровозного типа.

2. Чистка котла, дымогарных трубок и пароперегревателей не представляет никаких трудностей и производится после открытия дверок дымовых коробок.

3. Дымогарные трубки, благодаря их положению, не обнажаются даже на подъемах и спусках до 33°/о.

4. Котел, располагаемый поперек рамы впереди самохода, обеспечивает хорошую видимость дороги.

5. Котел имеет меньшие размеры и вес, нежели обычные котлы паровозного и локомотивного типа.

6. Котел, располагаемый отдельно от машины, требует применения длинного паропровода, при плохой изоляции которого конденсация пара может стать заметной.

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

Котлы этого типа применяются для самоходов класса Under-type и строятся как для отопления твердым топливом (коксом, углем, брикетом), так равно и для отопления жидким топливом (мазут и т. п.).

Котлы отличаются: небольшими размерами и весом; большой паропроизводительностью; малым колебанием уровня воды при езде по подъемам и спускам.

Наконец, котлы требуют мало времени для их разогрева и приведения их с момента растопки в рабочее, горячее состояние.

К этой группе котлов относится несколько систем, часть коих рассматриваем ниже.

### А. Котел „Atkinson“ („Atkinson & Co. Freuchword Works“, Preston, Engl)

Этот котел представлен в разрезе на фиг. 44 и устроен следующим образом: наружная часть котла представляет собою кожух А из стали, в который вставлена внутренняя, центральная, часть В, несущая кипяtilьные трубки С — в суженной части

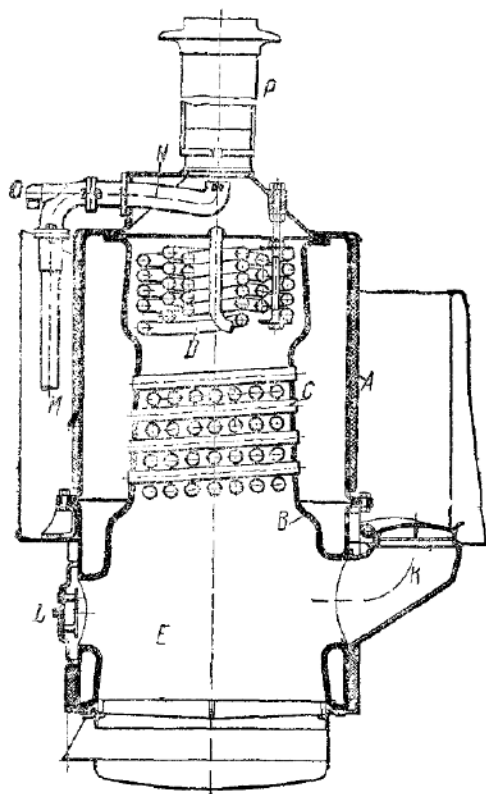
огневой коробки — и пароперегреватель *D*, расположенный у основания дымовой трубы *P*.

Центральная часть котла в местах закрепления кипяtilных трубок *C* имеет плоские стенки, наклоненные вверх, что сделано в целях улучшить движение к выходу газов, образующихся в объеме *E* над колосниками.

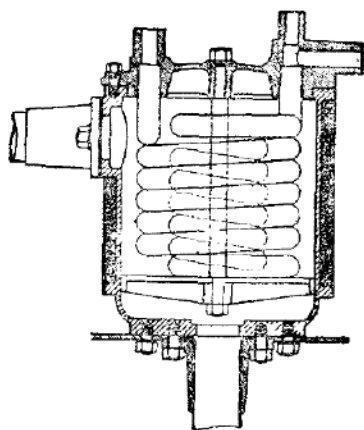
Кожух *A* и центральная часть *B* связаны между собою фланцами, затягиваемыми болтами.

Характерной особенностью котла является полное отсутствие заклепок: все части котла выполнены штамповкой и сваркой.

Топливо загружается через воронку *K*, выходящую в кабину водителя автомобиля, причем воронка закрывается специальной крышкой.



Фиг. 44



Фиг. 45

кой, управляемой ножной педалью. Окно *L* — с другой стороны топки — служит для чистки последней.

Пароперегреватель *D*, трубчатой системы, подвешен над кипяtilными трубами *C*.

Котел снабжен экономайзером (фиг. 45) трубчатой системы, подвешенным в камере *M* — на пути отработанного пара; экономайзер представляет собою сосуд, внутри которого заложен медный змеевик, по которому при помощи насоса подается в котел питательная вода; подогрев экономайзера производится отработанным паром, который подводится снизу; обогрев змеевик, пар уходит через боковой патрубок в выпускную трубу *N*,

снабженную конической насадкой (конусом), создающей искусственную тягу.

Боковой отрезок выхлопной трубы имеет слева отвод  $O$ , через который может быть произведен расход отработанного пара для целей искрогашения или иных.

И котел, и экономайзер хорошо закрыты изоляцией и обшивкой, так что потери тепла невелики.

Котел имеет:

- 1) поверхность нагрева  $H = 5,58 \text{ м}^2$ ,
- 2) площадь колосниковой решетки  $R = 0,31 \text{ м}^2$ ,
- 3) рабочее давление пара  $p = 16,2 \text{ кг/см}^2$ .

Пароперегреватель сообщает острому пару при нормальной работе добавочный перегрев в  $66^\circ \text{Ц}$ ; иначе температура рабочего пара  $t = 282^\circ \text{Ц}$ , чего достаточно для предупреждения начальной конденсации пара в машине.

Котел обслуживает трехцилиндровую машину одиночного расширения („тройня“) с парораспределением Штумпфа, мощностью  $N_e = 60 \text{ л. с.}$

Таким образом имеем еще такие относительные характеристики

$$\frac{H}{N} = 0,093 \text{ м}^2/\text{л. с.}$$

$$\frac{N_e}{H} = 10,75 \text{ л. с./м}^2.$$

При расходе пара в  $8,8 \text{ кг/л. с.}$  форсировка котла определяется паросъемом

$$\frac{8,8 \cdot 60}{5,58} = 92,8 \text{ кг/м}^2 \text{ час,}$$

что свидетельствует об основательной форсировке поверхности нагрева котла и, вообще, о напряженной работе последнего.

#### Б. Котел Clayton (Clayton Wagon Ltd, Lincoln, Engl)

Этот котел (фиг. 46) также состоит из внешнего кожуха и центральной части, сблоченных по отогнутым бортам.

Центральная часть в местах крепления кипяtilьных трубок имеет в плане квадратное сечение, образованное плоскими боковыми стенками, и выполнена штамповкой без заклепочных швов.

Кипяtilьные трубки расположены наклонно, причем 48 трубок укреплены в стенках развальцовкой, а 24 — толстостенных — поставлены на резьбе и, кроме своего прямого назначения, играют роль связей, укрепляющих плоские боковые стенки.



Все 72 трубки имеют одинаковый диаметр в свету ( $d = 1\frac{1}{2}''$ ) и одинаковую длину ( $l = 22''$ ).

Толщина стенок кожуха ( $\Delta_1 = \frac{1}{2}''$ ) и огневой коробки ( $\Delta_2 = \frac{5}{8}''$ ) позволяет подсчитать примерное напряжение в материале кожуха, которое при рабочем давлении пара  $p = 19,3 \text{ кг/см}^2$  составляет:

$$\sigma_z = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \Delta} = \frac{92 \cdot 19,3}{2 \cdot 1,27} \approx 700 \text{ кг/см}^2.$$

Полная поверхность  $H$  нагрева котла составляет

$$H = 6,01 \text{ м}^2.$$

Площадь колосниковой решетки

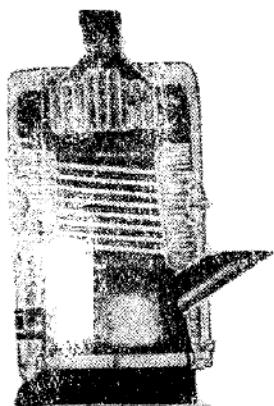
$$R \approx 0,40 \text{ м}^2.$$

Таким образом характеристическое соотношение между  $R$  и  $H$  составляет величину:

$$\frac{R}{H} = \frac{0,40}{6,01} = \frac{1}{15} = 0,067.$$

Котел при питании водою, подогретою до  $94^\circ \text{C}$ , дает нормально 840 кг пара в час с рабочим давлением  $p = 19,3 \text{ ат}$ , т.е. обладает паропроизводительностью до

$$Q = \frac{D}{H} = \frac{840}{6,01} = 140 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$



Фиг. 47

В. Котел „R. Garrett“ („Richard Garrett & Sons Ltd“, Leiston, Engl.)

Представленный на фиг. 47 котел выполнен для парового трактора „Suffolk Punch“ и отличается от двух предыдущих перекрестным расположением кипящих трубок и иным видом пароперегревателя, также подвешенного к верхнему концу котла.

Этот котел имеет:

- 1) рабочее давление пара  $p = 17,6 \text{ кг/см}^2$ ,
- 2) поверхность нагрева  $H = 6,0 \text{ м}^2$ ,
- 3) площадь колосниковой решетки  $R = 40 \text{ м}^2$ .

Таким образом его характеристика

$$\frac{R}{H} = \frac{1}{15} = 0,067$$

такая же, как и у котла Clayton.

## Г. Котел „Sentinel“ (The Sentinel Waggon Works Ltd London)

Этот котел, представленный на фиг. 48, строится для грузовиков и автобусов „Sentinel“ разных марок.

Огневая коробка этого котла представляет собою двуфланцевую коническую трубу, связанную с наружным цилиндрическим кожухом болтами.

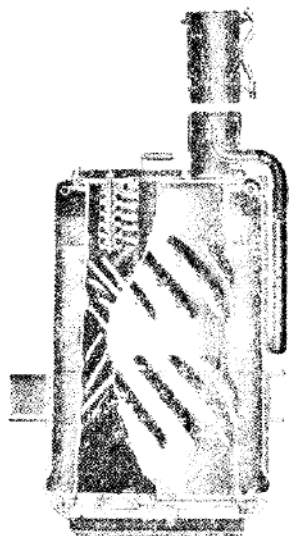
Водяные трубки расположены пучками, по 3 штуки в пучке, и соединяют стенки огневой коробки, располагаясь по хордам сечения с уклоном кверху котла.

Эта система принята в целях обеспечить „завихривание“ движения топочных газов, выпускаемых — по тем же соображениям — в трубу, расположенную на верхнем днище кожуха *эксцентрично*.

Концы водяных трубок укреплены раскаткой в стенках „карманов“, выштампованных в огневой коробке.

Котлы этой группы строятся для пара с рабочим давлением  $p=19,3$  ат и характеризуются отношением

$$\frac{R}{H} = \frac{1}{15} = 0,067.$$



Фиг. 48

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОГНЕТРУБНЫЕ ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

Типичным образцом котлов этой группы является паровой котел, представленный на фиг. 49 и 50, где дан котел завода John Fowler & Co, Leeds, Engl. для самоходов класса Undertуре этого завода.

На фигурах котел представлен в разрезе (фиг. 49) и в разобранном виде (фиг. 50).

Котел состоит из разъемного кожуха и приклепанной к низу последнего невысокой огневой коробки, от которой идут вверх — к дымовой коробке изогнутые дымогарные трубки (числом 24).

Огневая коробка, вместе с трубками, может быть легко освобождена от верхней половины кожуха (фиг. 50), что очень важно для осмотра, ремонта и чистки котла.

В дымовой коробке помещен пароперегреватель змеевикового типа, забирающий пар из кольцевого паросборника, приклепанного к верху кожуха котла.

Загрузка топлива происходит через центральную трубу, закрываемую сверху крышкой. Эта система загрузки обеспечивает укладку топлива на колосниковой решетке горкой, что

очень удобно при той форме огневой коробки, какая придана последней.

Чистка топки производится через боковой люк (слева).

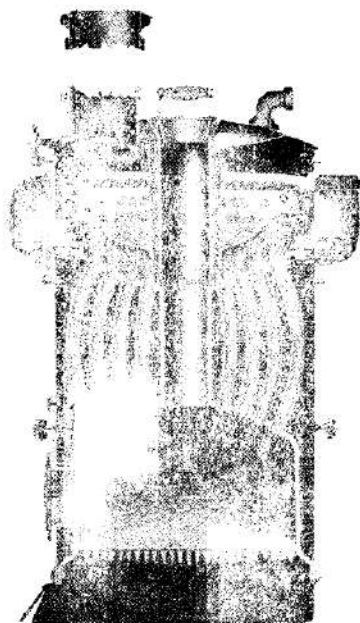
Дымовая труба расположена на кожухе эксцентрично.

Тяга искусственная — путем выпуска отработанного пара через конус, устроенный у основания дымовой трубы.

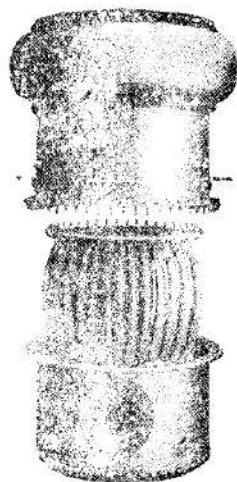
Паровой котел характеризуется следующими размерами:

1) поверхность нагрева котла  $H = 8,18 \text{ м}^2$ ,

2) поверхность пароперегревателя  $H_p = 1,12 \text{ м}^2$ ,



Фиг. 49



Фиг. 50

3) площадь колосниковой решетки  $R = 0,35 \text{ м}^2$ ,

4) рабочее давление пара  $p = 15,8 \text{ ат.}$

При этих размерах относительные размеры котла таковы:

$$\frac{R}{H} = \frac{1}{23,4} = 0,043,$$

$$\frac{H_p}{H} = 0,137.$$

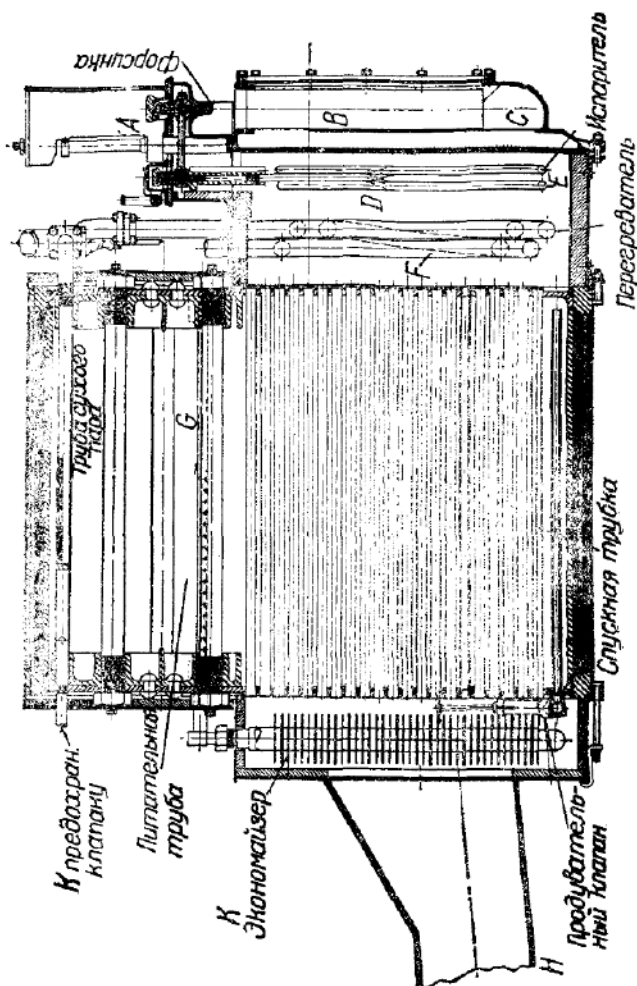
Котел питает паром  $V$  образную двучилиндровую паровую машину — компаунд, имеющую нормальную мощность  $N_e = 60 \text{ л. с.}$

Принимая удельный расход пара  $D_0 = 8,2 \text{ кг/л. с.}$ , получаем паропроизводительность квадратного метра поверхности нагрева

$$Q = \frac{D_0 \cdot N_e}{H} = \frac{8,2 \cdot 60}{8,18} = 60,2 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

## ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ОГНЕТРУБНЫЕ ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

В качестве образца котлов этой группы приводим котел американского автобуса (фиг. 13) фирмы „Delling Motors Co, Camden, N. I“, представленный на фиг. 51 и 52 в разрезах<sup>1)</sup>.



Фиг. 51

Корпус котла выполнен из специальной стали толщиной  $\frac{3}{8}$ " (10 мм), согнутой в барабан и сваренной.

Цилиндрическая часть (барабан) имеет следующие размеры

длина . . . . 34" (865 мм),  
диаметр . . . . 26" (660 мм).

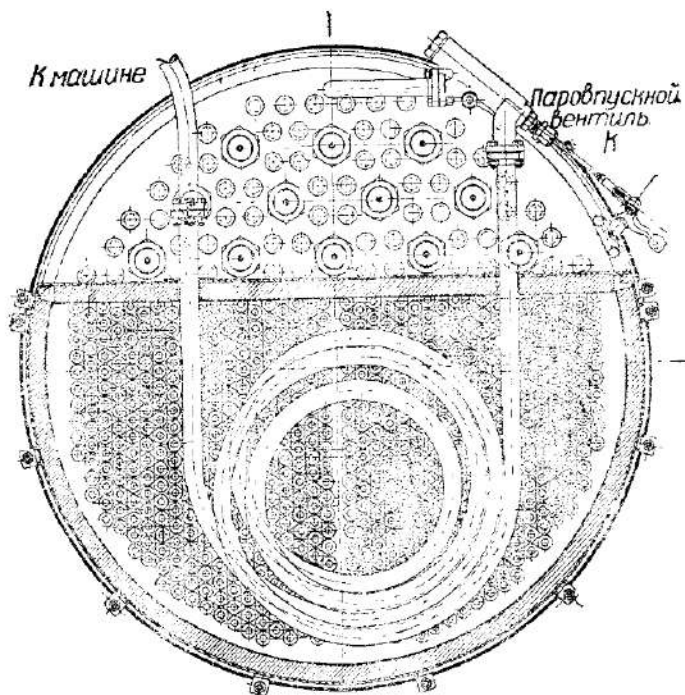
Барабан обвит сверху фортепианной проволокой, уложенной в 5 слоев.

<sup>1)</sup> Delling Steam Bus, „Automotive Industries“, 29/XII 1928, стр. 940 и дальше.

В нижней части барабана — через оба его плоские днища — проходят 686 дымогарных трубок, имеющих диаметр  $\frac{5}{8}$ " (16 мм): часть этих трубок — толстостенна и играет роль продольных связей.

Верхняя часть барабана, работающая как сухопарник, сильно укреплена продольными связями, соединяющими плоские днища.

В передней части котла помещена топка, работающая на жидком топливе.



Фиг. 52

Последнее подается насосом через форсунку *A* бунзеновского типа в смесительную камеру *B*, откуда выходит пламя, разбивающееся о сетку *C*; пламя, пройдя через сетку, попадает в камеру *D*, где расположен испаритель *E*, вырабатывающий пар для форсунки, и пароперегреватель *F*, выполненный в виде змеевика.

Котел имеет: питательную трубу *G*, расположенную над дымогарными трубками и выполненную в виде брызгала; спускной и продувальный кран *H*; ребристый экономайзер *K*, помещенный в начале дымовой трубы, отводящей дым сзади автобуса.

На фиг. 51 и 52 ясно видны: верхняя и нижняя часть котла, обмуровка стенок и вид перегревателя.

Пар идет к последнему после открытия регулятора (парового вентиля)  $R$ .

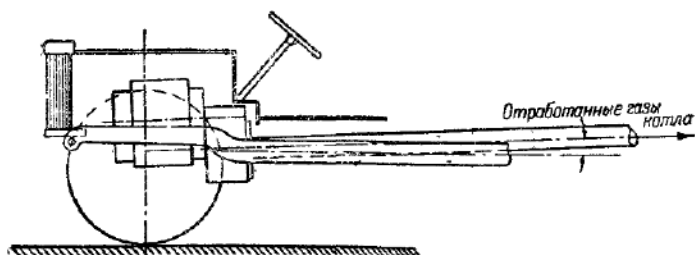
Давление пара в котле регулируется диафрагмовым клапаном, который при повышении давления останавливает подачу топлива.

Нормально вырабатываемый котлом пар, имеющий давление  $p = 42,5 \div 50$  ат, может быть дросселированием у машины переведен в пар  $p = 10,5$  ат.

Нормальные температуры пара  $288^\circ\text{C}$  — в перегревателе;  $270^\circ\text{C}$  — при входе в цилиндр машины.

Паровой котел имеет следующие элементы:

- 1) поверхность испарения  $H = 29,5 \text{ м}^2$ ,
- 2) живое сечение дымогарных трубок  $R_0 = 0,076 \text{ м}^2$ .



Фиг. 53

Котел устанавливается на раме автобуса наклонно (фиг. 53), что делается для того, чтобы облегчить выход дыма по дымо-вому каналу.

Котел обслуживает паровую трехцилиндровую машину оди-ночного расширения (реверсивную) с цилиндрами, имеющими размеры:

$$\begin{aligned} \text{диаметры } d &= 4\frac{1}{2}'' \\ \text{ход поршней } l &= 4\frac{3}{4}'' \end{aligned}$$

При мощности машины  $N_e = 90$  л. с. и расходе пара  $8,8 \text{ кг/л.с.}$  производительность котла составляет:

$$Q = \frac{8,8 \cdot N_e}{H} = \frac{8,8 \cdot 90}{29,5} \approx 26,8 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

## КОМБИНИРОВАННЫЕ КОТЛЫ

В эту группу мы включаем ряд котлов, комбинированных из барабанов и змеевиков, обслуживающих самоходы класса Undertype. Котлы, за немногими исключениями, вырабатывают пар высокого давления.

А. Котел „Bryan“ (Bryan Harvester Co, Peru, Indiana, U. S. A.)

Представленный на фиг. 54 котел принадлежит с.-хоз. трактору Bryan (фиг. 12). Котел состоит из трех горизонтальных, параллельных, барабанов и серий мелких изогнутых трубок, составляющих совместно общую поверхность нагрева около  $H \approx 2,3 \text{ м}^2$ .

Два крайних барабана являются кипятивниками, из которых вода поступает в трубки, вырабатывающие пар  $p = 42,5 \text{ ат}$ , собирающийся в средний барабан — паросборник.

Двигаясь к последнему, пар перегревается, примерно, до  $420^\circ \text{Ц}$  и в таком виде идет к машине.

Вся система выполнена без швов и заключена в хорошо изолированную коробку.

Каждая трубка совершенно самостоятельна и легко может быть вынута из системы в случае порчи.

В качестве топлива применяется мазут, либо иное подходящее топливо, сжигаемое в особой площадке под котлом.

Характеристику котла помещаем ниже.

1. Поверхность нагрева, приходящаяся на одну лошадиную силу установленной машины:

$$H_0 = \frac{H}{N_e} = \frac{2,3}{2,0} \approx 0,11 \text{ м}^2 / \text{л. с.}$$

2. Количество лошадиных сил, снимаемых с квадратного метра поверхности нагрева:

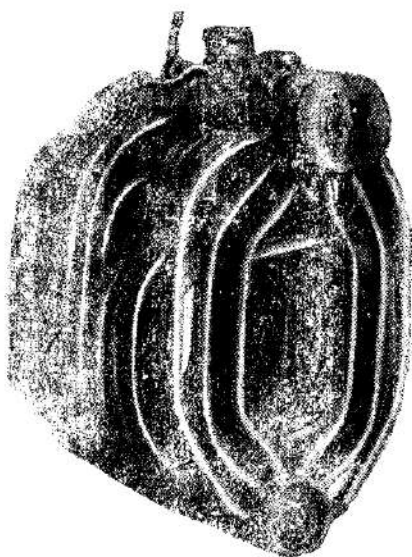
$$N_0 = \frac{N_e}{H} = \frac{20}{2,3} \approx 9 \text{ л. с. / м}^2.$$

3. Примерная форсировка поверхности нагрева при расходе пара 8,8 кг/л. с., составляет:

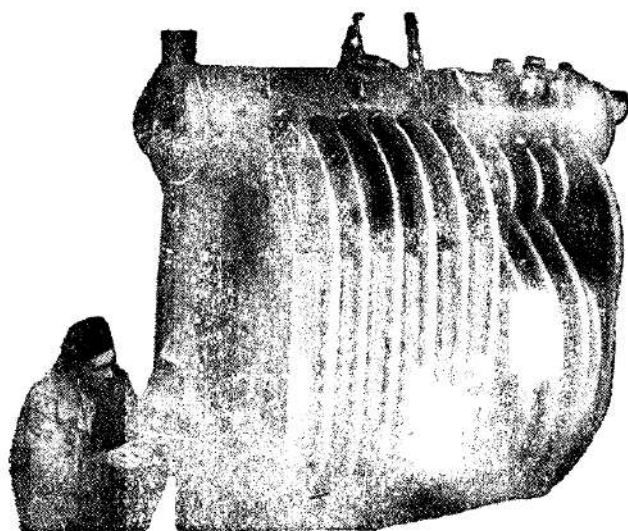
$$Q_0 = \frac{8,8 \cdot 20}{2,3} = 76,5 \text{ кг/л. с. час.}$$

Б. Паровой котел Людиновского завода  
(РСФСР, Людиново, Запад. область)

Этот паровой котел, фотографии коего (фиг. 55, 56, 57) нам сообщены *Людиновским заводом*, обслуживает паровой гусе-



Фиг. 55

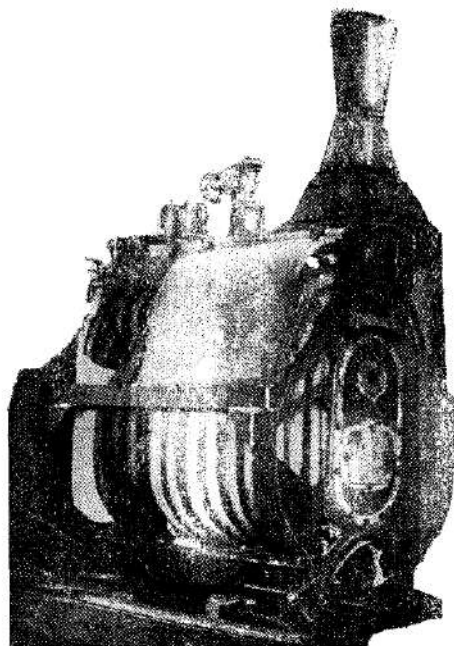


Фиг. 56

ничный трактор (номинальная мощность 70 л. с., длительная мощность 78 л. с.) Людиновского завода.

Котел — двухбарабанный, экранированный с трубчатым подогревателем и перегревателем, работает на дровах ( $1\frac{1}{2}$ -метровые „швырки“).

Тяга — дымососом. Рабочее давление — 22 ат.



Фиг. 57

Котел имеет следующие размеры:

Поверхность нагрева . . . . .	$H_k = 8,63 \text{ м}^2$
Поверхность „муррея“ (пластинок, приваренных к кипяtilьным трубкам) . . .	$H_m = 2,50 \text{ м}^2$
Поверхность, омываемая газами . . . . .	$H_g = 10,78 \text{ м}^2$
Поверхность экономайзера . . . . .	$H_z = 1,53 \text{ м}^2$
Поверхность пароперегревателя . . . . .	$H_p = 3,63 \text{ м}^2$
Диаметр верхнего барабана . . . . .	$D = 376 \text{ мм}$
Длина . . . . .	$L = 1840 \text{ мм}$
Диаметр нижнего . . . . .	$d = 290 \text{ мм}$
Диаметр кипяtilьных трубок . . . . .	$d_t = 60 \text{ мм}$
Полный вес парового котла . . . . .	2272 кг

Для характеристики этого котла, представление о котором дают фотографии (фиг. 55—57), ниже сообщаем данные испытаний, сделанных на заводе в октябре 1934 г. в лабораторных условиях.

Испытание велось на дровах с 22% влажностью, показавших испарительную способность 2,56 кг/кг.

Помещаем данные испытаний в табл. 10.

Таблица 10

Нагрузка поверхности нагрева . . . . .	38,6 кг/м <sup>2</sup>
Газы в топке: CO <sub>2</sub> . . . . .	13,7%
CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	19,4%
CO . . . . .	1,55%
Коэффициент избытка воздуха . . . . .	1,32
Температура газов в топке . . . . .	750° Ц
„ перед перегревателем . . . . .	619° Ц
„ за перегревателем . . . . .	470° Ц
„ за экономайзером . . . . .	358° Ц
„ воздуха, поступающего в топку . . . . .	18° Ц
„ питательной воды перед экономайзером . . . . .	11° Ц
„ питательной воды за экономайзером . . . . .	70° Ц
Разрежение в зольнике . . . . .	0,8 мм вод. ст.
Разрежение в топке . . . . .	2,0 мм вод. ст.
„ перед перегревателем . . . . .	—
„ экономайзером . . . . .	8,0 мм вод. ст.
„ за экономайзером . . . . .	12,4 „ „
„ в трубе вентилятора . . . . .	57,2 „ „
Теплосодержание рабочего топлива . . . . .	3288 кал/кг
К. п. д. котла . . . . .	44,6%
Использование тепла перегревателя . . . . .	6,0%
„ экономайзера . . . . .	4,6%
К. п. д. котла + перегреватель + экономайзер . . . . .	55,2%
Потери с уходящими газами . . . . .	19,8%
„ от неполного сгорания . . . . .	6,7%
Ученное тепло на кг топлива . . . . .	81,7%
Потери от механической неполноты сгорания + остаточный член баланса . . . . .	18,3%
Температура пара за перегревателем . . . . .	298° Ц
Теплосодержание пара перед машиной . . . . .	720 кал/кг.

Таковы средние результаты работы котла, проходящего сейчас период изучения и усовершенствования.

## КОТЛЫ БЕЗ ВОДЯНОГО ПРОСТРАНСТВА

Решения задачи конструирования котлов без водяного пространства не новы и шли по двум путям:

1. По пути применения *незначительных сечений водяного объема*, как в котлах быстрого парообразования типа Серполе.

2. По пути применения *инжекции воды в паровое пространство* посредством различного рода сопел и водораспылителей.

Котлы типа Серполе, составленные из уплощенных толстостенных трубок с очень узким сечением в свету, не решили вопроса в полной мере, ибо трубки оказываются чрезвычайно склонными к засорению и в силу этого к перегогу.

Опыты со вспыскиванием воды в паронесущую систему при помощи различного рода сопел и распылителей оказались по результатам более благоприятными, хотя такие конструкции котлов и дают затруднения в отношении регулирования их питания и правильного распределения воды по системе. Последние недостатки пытался серьезно устранить завод Becker'a, близ Веймара (Германия), применивший своеобразное решение задачи. Кроме этого котла имеется еще ряд котлов с быстрым

парообразованием, примененных у современных паровых самоходов.

Таковы, например:

котел автомобиля „Станлей“<sup>1)</sup>,

котел автомобиля „Добль“<sup>2)</sup>,

котел автобуса „Automotive Sindik“<sup>3)</sup>,

котел автобуса „Brucks Steam Motors Co“<sup>4)</sup> и ряд других.

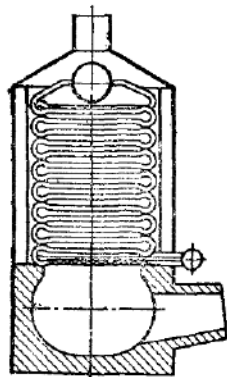
Эти котлы более чем какие-либо иные привлекают конструкторскую мысль, ибо они: легки, малого габарита, быстро приводятся в рабочее состояние и обладают большой паропроизводительностью.

Эти свойства делают такого рода котлы чрезвычайно удобными для самоходов всех систем.

Рассмотрим несколько таких котлов.

### А. Котел Besker'a<sup>5)</sup>

Котел Беккера с быстрым парообразованием, как видно из фиг. 58, состоит из ряда горизонтально расположенных змеевидных труб, примыкающих снизу, справа к общей водопитательной, а сверху — к общей пароотводящей трубам. Змеевидные трубы расположены, таким образом, перпендикулярно к потоку горячих газов. Подача воды к общей трубе производится при помощи насоса и ничем не отличается от обычного способа питания паровых котлов. Из питательной трубы вода поступает в отдельные змеевики, в нижнюю, самую нагретую часть, непосредственно над топкой. В этих нижних частях труб находятся водораспылительные приспособления, функционирующие благодаря развивающейся большой скорости быстро образующегося пара.



Фиг. 58

Водораспылитель патентован еще в 1917 г., но устройство его — секрет изобретателя; во всяком случае действие его аналогично действию форсунок. Испытания его показали, что в означенных змеевидных трубах, при отсутствии в них воды, при вспыскивании немедленно образуется пар любого давления и перегрева.

До тех пор, пока пригонк тепла от топки можно сообразовать с отдачей тепла пару, или, выражаясь практически, пока

<sup>1)</sup> Паровые автомобили, „Успехи промышленной техники“, Берлин, № 5, 1925, стр. 128.

<sup>2)</sup> V D I., № 3, 20/I, 1934, стр. 65.

<sup>3)</sup> „Bus Transportation“, март, 1929.

<sup>4)</sup> „Bus Transportation“, июль, 1929.

<sup>5)</sup> „Успехи пром. техники“, изд. БИИТ, Берлин, стр. 121 — 122, № 5, 1935, (Büro für Wissenschaft und Technik des obersten Volkswirtschaftsrates der U. d. S.S.R.).

змеевидные трубы будут охлаждаться циркулирующим в них паром, нет никакой опасности их накаливания или хотя бы преждевременного износа, несмотря на отсутствие в них воды.

При равномерной отдаче котлом пара подобное регулирование притока и отдачи тепла, конечно, не трудно; но случай же неравномерной отдачи пара требуется, так называемая, „*властичная топка*“, как газовая, нефтяная или пылеугольная, т. е. без постоянного очага.

Автомобильный котел Беккера без водяного пространства, для давления в 15 ат, имеет следующие размеры: количество змеевиков 15, их диаметр 26,5/21 мм, диаметр общей водопитательной трубы 54/49 мм, диаметр парособирающей трубы 133/126 мм, поверхность нагрева 6 м<sup>2</sup>, вес самого котла 210 кг незначительно повышается при давлении пара в 30 ат и больше.

Испытания этого котла с топкой на мазуте показали, что для растопки его в холодном состоянии и получения пара давлением в 15 ат потребовалось всего 5½ минут.

Разумеется, однако, что за это время не достигается еще постоянной, полной производительности котла, и пар получается слишком влажный; однако, через 15 минут с момента растопки пар получается уже перегретым, вполне пригодным для питания паровой машины; при дальнейшем испытании получились в этом случае следующие данные: давление 15 ат, перегрев 150° Ц, паропроизводительность 40 кг с квадратного метра поверхности нагрева.

Возникает вопрос, не образуется ли в котле накипь, которая при змеевидных трубах, не поддающихся чистке, может повлечь за собой роковые последствия? В особенности для автомобильного котла это явление имеет решающее значение. Шестилетний опыт с этими котлами показал полное отсутствие образования накипи в трубах. При обыкновенном котле накипь образуется, как известно, в водяном пространстве и в трубах, проводящих горячие газы, на наружной поверхности, омываемой водой. Если же испарение воды происходит не в водяном пространстве, а при первой встрече мельчайших водяных капель с поверхностью нагрева, т. е. как бы в самом паровом пространстве, то можно согласиться с утверждением завода, на основании его многолетнего опыта, что образующиеся при парообразовании соли не успевают выкристаллизовываться и оседать на поверхности нагрева. Правдоподобным является поэтому объяснение, что образование накипи имеет место лишь в том случае, если соли задерживаются водой; если же питание котла производится мельчайшими капельками воды, то при парообразовании соли увлекаются паровым потоком.

Во всяком случае, если, на основании многолетних опытов, отложить в сторону сомнения относительно возможности при данных условиях образования накипи, то производство пара в котле без водяного пространства весьма заманчиво. Водяное пространство в котлах считается до сих пор наилучшей гаран-

тией против опасного накаливания котельного материала пламенем и горячими газами топки. До тех пор, пока поверхность нагрева чиста и омывается водой, опасное повышение температуры в материале безусловно исключается. С другой стороны, однако, если в котле появляются дефекты по другим причинам, то опасность взрыва тем больше, чем больше водяное пространство, внезапно освобождающее накопленную в котле энергию. Таким образом, с точки зрения безопасности котла водяное пространство имеет и отрицательные стороны. При парообразовании в водяном пространстве отделение воды от пара представляет некоторые трудности и производится только тогда беспрепятственно, если циркуляция воды в котле хорошо обеспечена и имеется более или менее значительная поверхность между водой и паром.

Таким образом, наличие водяного пространства вызывает необходимость больших сечений отдельных частей котла. Сложность конструкции нынешних водогрубных котлов объясняется именно парообразованием в водяном пространстве. Если же желают достичь парообразования без циркуляции воды в трубах, то приходят к еще более сложным конструкциям. Трудности, вызываемые водяным пространством, возрастают еще по мере повышения давления пара, и в котлах наивысшего давления парообразование при обычных ныне объемах водяного пространства становится вообще не экономным, так что использование преимуществ наивысшего давления пара возможно исключительно в котлах с небольшим количеством воды.

С полным отказом от водяного пространства котел чрезвычайно упрощается и удешевляется. Спрашивается только, достаточно ли безопасен такой котел в эксплуатации и каково его отношение к колебаниям температуры в топке и нагрузке?

На оба вопроса можно дать ответы только на основании продолжительных практических испытаний. При наличии водяного пространства наблюдение за котлом устанавливается при помощи водомерных стекол и кранов, показывающих уровень воды в котле. При котлах без водяного пространства также должны быть простейшие средства для наблюдения за количеством воды, поступающим в змеевики и представляющим известную меру и гарантию для обеспечения их охлаждения.

Не исключается также возможность устройства означенного котла с предохранительными приспособлениями на случай перегорания того или другого змеевика в смысле обеспечения непрерывности дальнейшей эксплуатации его. А что перегоревший змеевик не влечет за собой никакой катастрофы — ясно из того, что взрыв обычного котла опасен именно вследствие наличия большого количества воды высокой температуры и давления, стремящейся к внезапному парообразованию, что в этих котлах не имеет места. *Колебание температуры в топках имеет, однако, большое влияние на парообразование, а потому одна колосниковая топка, без эластичной топки, едва ли применима*

в этих котлах. Колебания в нагрузках котла обезвреживаются эластичной толпой, снабженной автоматическими регулирующими приспособлениями для подачи топлива.

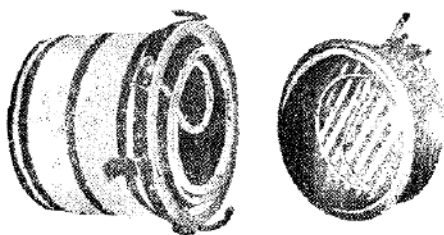
Таким образом, возможность применения котлов без водяного пространства для практически любых давления и перегрева можно считать доказанной; необходимо только в дальнейшем проследить за их эксплуатацией на практике.

Беккер, главным образом интересуясь мелкими установками, приходит к выводу, что чем меньше котел, тем больше его относительная производительность или, другими словами, чем меньше поверхность нагрева, тем выше достигаются относительные паропроизводительность и давление.

### Б. Котел Станлей

Описание этого котла, встречающееся в литературе<sup>1)</sup>, очень кратко и сводится в основном к тому, что котел состоит из нескольких змеевиков, разогреваемых нефтью, и дает пар с рабочим давлением, составляющим  $p = 14$  ат. Весь котел (фиг. 59) помещается под капотом легкового автомобиля.

Для подачи нефти служит автоматически регулируемый клапан, причем система, регулирующая подачу, может устанавливаться и от руки.



Фиг. 59

Согласно литературным данным<sup>1)</sup> стоимость расходуемого топлива не превышает 50% стоимости расхода бензина у открытых автомобилей (ценою 2500 долларов) и лимузинов (ценою 3300 долларов), способных перемещаться со скоростью 80 км/час.

К глубокому сожалению, больших подробностей об этом „изумительно малом“<sup>1)</sup> по размерам котле мы достать не могли, несмотря на все сделанные нами для этого попытки.

Ограничиваясь сказанным, добавим, что более поздней постройки котлы имеют  $p = 38$  ат.

### В. Котлы „Automotive и Bruck“

Касаясь других упомянутых нами выше котлов этой группы, поставленных на автобусах американских компаний, сообщаем кратко данные для них.

а) Котел 40-местного автобуса<sup>2)</sup> фирмы „Automotive Syndik“, выпущенного в 1929 г., рассчитан на давление  $p = 70$  ат и перегрев  $427^{\circ}\text{C}$ ; работает на мазуте, расходуя последнего 1 галлон на 4,8 км хода. На автобусе установлено два котла быстрого

<sup>1)</sup> „Успехи промышленной техники“, № 5, 1925, стр. 128.

<sup>2)</sup> „Bus Transportation“, март, 1929.

парообразования (так называемый „флаш“), обслуживающие основную 8-цилиндровую машину в 150 л. с. и вспомогательную в 18 л. с.

б) Котел 39-местного автобуса фирмы „Bruck Steam Motors Co“ имеет давление 53 ат и построен как „флаш“ для работы по принципу противотока.

Температура в его топке  $1760^{\circ}\text{C}$ , а температура отходящих газов  $260^{\circ}\text{C}$ , т. е. котел имеет большую теплоотдачу.

Расход топлива для этого котла составляет 1 галлон на 6—8 км пробега.

Приведение котла из холодного в рабочее состояние занимает 20 секунд.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРОВОГО БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО КОТЛА ДЛЯ САМОХОДА UNDERTYPE

В 1935 г. в Одесском индустриальном институте сделаны попытки перепроектировать трактор „ХТЗ-15/30“ и трактор „Коммунар“, переводя их на пар; равным образом имела место попытка спроектировать 8-тонный трехосный паровой грузовик.

Проектировщиками последнего (гг. Рагуцкий, Прицкер и Осетян) предложен паровой котел, который представлен на фиг. 60, 61 и 62, причем в основу проекта взят котел Беккера, рассмотренный нами выше.

Котел рассчитывался для давления  $p = 100$  ат с перегревом до  $t = 425^{\circ}\text{C}$  и имеет следующие размеры и элементы:

количество змеевиков . . . . .	19 шт.
диаметр змеевиковых труб . . . . .	26,5 мм
общая длина „ . . . . .	97 м
диаметры водоподающей трубы . . . . .	54/46 мм
„ парособирательной трубы . . . . .	133/124 мм
поверхность нагрева . . . . .	8 м <sup>2</sup>

Котел уложен в габариты:

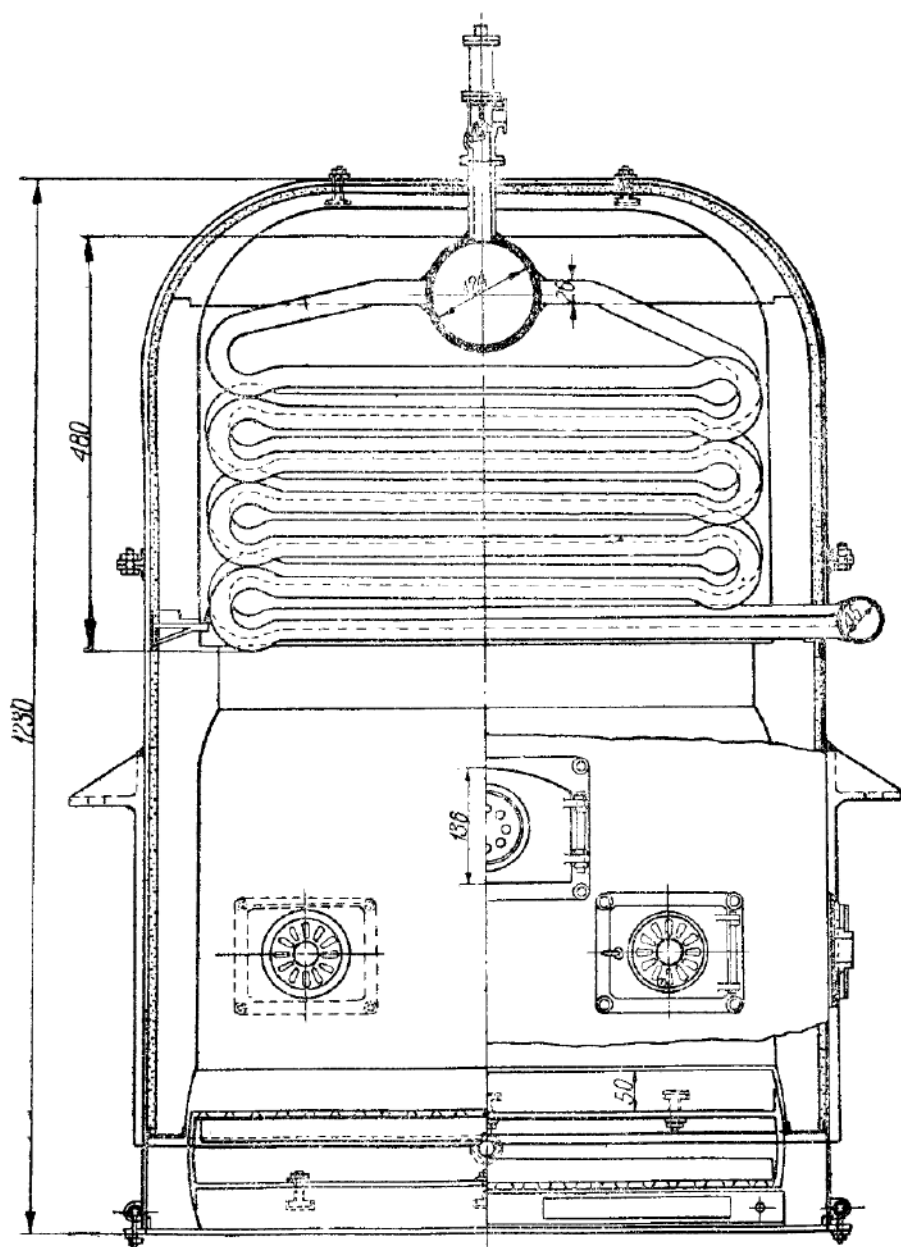
общая длина . . . . .	920 мм
„ ширина . . . . .	800 мм
полная высота . . . . .	1230 мм
вес котла . . . . .	540 кг.

Топка высотой 510 мм и шириной 784 мм рассчитана в основном для отопления мазутом, подаваемым четырьмя тангенциальными механическими форсунками.

Предусмотрена, однако, работа и на дровах или угле, для чего колосниковая система может быть повернута на  $180^{\circ}$ , на чем и заканчивается все приспособление котла к другому виду топлива; это предусмотрено на случай оторванности от базы снабжения. В целях обеспечить для этого случая котел дровами, борты грузовой платформы автомобиля предусмотрены набранными

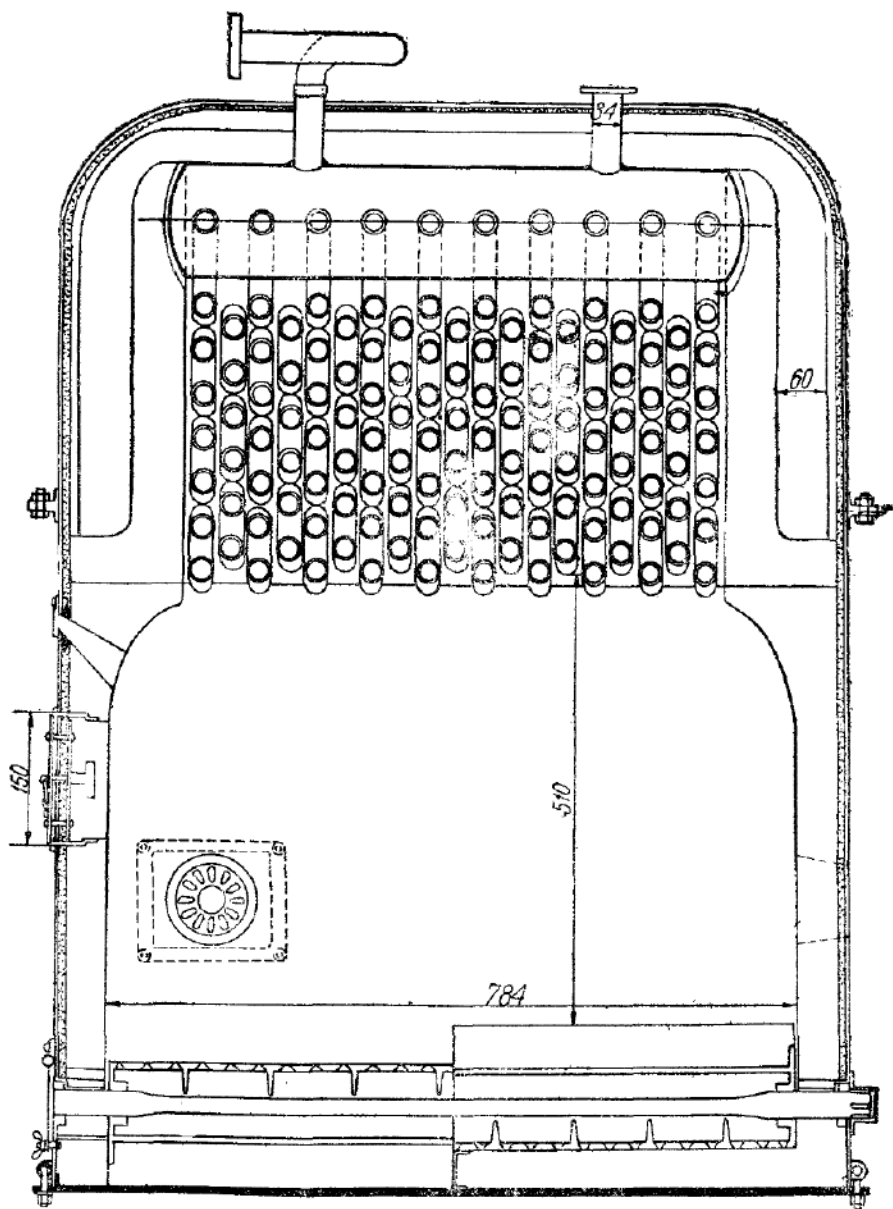
---

<sup>1)</sup> „Bus Transportation“, июль, 1929.



Поперечный разрез

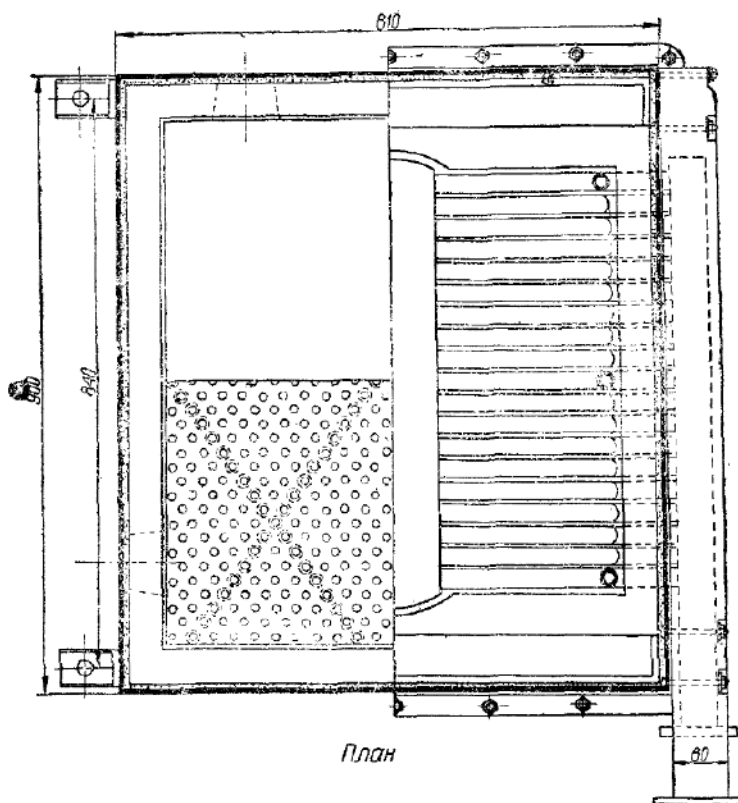
Фиг. 60



Фиг. 61

из вертикально поставленных дубовых брусков, чрезвычайно легко извлекаемых и служащих дровами для котла.

Конструкция котла ясна из чертежей (фиг. 60—62) без дополнительного описания.



Фиг. 62

Расчет котла, помещенный ниже, выполняется по следующему заданию:

давление пара . . . . .  $p_1 = 100$  ат  
 температура . . . . .  $t_1 = 425^\circ \text{C}$   
 питат. воды . . . . .  $t = 70^\circ \text{C}$

топливо — мазут с составом органической массы (углерод, водород, кислород и влага):

$0,865 C_0; 0,128 H_0; 0,004 O_0; 0,01 W.$

Делаем пересчет элементарного состава рабочего топлива в процентах по весу и имеем:

$$C_p = C_0 \cdot \frac{100 - W}{100} = 86,5 \cdot \frac{100 - 1}{100} = 85,93\%$$

$$H_p = H_0 \cdot \frac{100 - W}{100} = 12,8 \cdot \frac{100 - 1}{100} = 12,67\%$$

$$O_p = O_0 \cdot \frac{100 - W}{100} = 0,4 \cdot \frac{100 - 1}{100} = 0,40\%$$

$$\frac{C_p + H_p + O_p = 100\%}{}$$

Теплотворная способность топлива по формуле Менделеева составит:

$$(Q_p)_н = 81 \cdot C_p + 300 H_p - 26 (O_p - S) - 6 (9H_p + W) \quad (1)$$

или

$$(Q_p)_н = 81 \cdot 85,93 + 300 \cdot 12,67 - 26 \cdot 0,4 - 6 (9 \cdot 12,67 + 1) = 10060 \text{ кал/кг.}$$

Количество  $\text{CO}_2$  в продуктах горения определится формулой

$$(\text{CO}_2)_{\text{макс}} = \frac{21}{1 + \beta}, \quad (2)$$

где

$$\beta = 2,37 \cdot \frac{H_p - \frac{O_p - S}{8}}{C_p} \quad (3)$$

Делая подстановки, имеем:

$$\beta = 2,37 \cdot \frac{12,67 - \frac{0,4}{8}}{85,93} = 0,348.$$

$$(\text{CO}_2)_{\text{макс}} = \frac{21}{1 + 0,348} = 15,6\%.$$

Определяем объем сухих продуктов горения на 1 кг топлива, причем — по Киршу — принимаем  $\text{CO}_2 = 14\%$ :

$$V_{\text{ср}} = \frac{C_p}{0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO})} = \frac{85,93}{0,536 (14 + 0,29)} = 11,3 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Определяем количество воздуха, теоретически необходимое для 1 кг мазута:

$$L = \frac{8/3 \cdot C_p + 8 \left( H_p - \frac{O_p}{8} \right) + S}{0,23} = \frac{8/3 \cdot 0,8593 + 8 \left( 0,1267 - \frac{0,004}{8} \right)}{0,23} = 14,36 \text{ кг.}$$

Объем этого воздуха при  $t = 0^\circ$  и  $p = 760 \text{ мм}$ :

$$L_{t=0} = \frac{14,36}{1,293} = 11,1 \text{ м}^3.$$

Используя воздух, выходящий из конденсатора при  $t = 60^\circ \text{Ц}$ , и приводя его к этой температуре, определяем объем воздуха:

$$(L_v)_{t=60^\circ} = 11,3 \cdot \left(1 + \frac{60}{273}\right) = 13,7 \text{ м}^3.$$

Принимаем потерю от неполноты сгорания  $q_3 = 1\%$ , или в калориях:

$$Q_3 = q_3 \cdot \frac{Q_p}{100} = 1 \cdot \frac{10060}{100} = 100,6 \text{ кал/кг}$$

определяем процент  $\text{CO}$  в газах из условия:

$$Q_3 = 56,5 \cdot C_p \cdot \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}}. \quad (4)$$

Имеем:

$$\text{CO} = \frac{Q_3 \cdot \text{CO}_2}{56,5 \cdot C_p - Q_3} = \frac{100,6 \cdot 14}{56,5 \cdot 85,93 - 100,6} = 0,29\%.$$

Определяем процент  $\text{O}_2$  в газах из условия:

$$\text{CO} = \frac{1}{0,605 + \beta} \left[ 21 - \beta \cdot \text{CO}_2 (\text{CO}_2 + \text{O}_2) \right]. \quad (5)$$

После подстановок и переделок получаем:

$$\text{O}_2 = 1,85\%.$$

Далее имеем азот:

$$N_2 = 100 - (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{O}_2) = 100 - (14 + 0,29 + 1,85) = 83,86\%.$$

Коэффициент избытка воздуха составит:

$$\alpha_1 = \frac{N_2}{N_2 - 3,76 \left( \text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2} \right)} = \frac{83,86}{83,86 - 3,76 \left( 1,85 - \frac{0,29}{2} \right)} = 1,08.$$

Потери от механической неполноты сгорания принимаем  $q_4 = 0\%$ .  
Потери в окружающую среду при  $q_5 = 6\%$  составят:

$$Q_5 = \frac{q_5 \cdot Q_p}{100} = \frac{6 \cdot 10060}{100} = 604 \text{ кал/кг}.$$

Потери  $q_2$  с отходящими газами определим из уравнения:

$$Q_2 = \left[ \frac{C_p}{0,536 (\text{CO}_2 + \text{CO})} \cdot C_{\text{гр}} + \frac{9H + W}{100} \cdot C_{\text{вп}} \right] [T_{\text{yx}} - t_{\text{возд}}]. \quad (6)$$

Примем:

температуру уходящих газов  $T_{\text{yx}} = 335^\circ \text{Ц}$   
" окружающей среды  $t_{\text{возд}} = 20^\circ \text{Ц}$ .

Определяем далее теплоемкости сухих газов  $C_{сг}$  и водяных паров

$C_{вп}$  = при температурах  $T_{yx} = 335^\circ \text{C}$  и  $T_n = 425^\circ \text{C}$ ; имеем:

$$\begin{aligned} C_{сг} &= 0,314 + 0,00003 \cdot T_{yx} = 0,321 \text{ кал/м}^3 \\ C_{вп} &= 0,450 + 0,00005 \cdot T_n = 0,467 \text{ кал/м}^3. \end{aligned}$$

Теперь имеем:

$$\begin{aligned} Q_2 &= \left[ \frac{85,93}{0,536(14 + 0,29)} \cdot 0,321 + \frac{9 \cdot 12,67 + 1}{100} \cdot 0,467 \right] [335 - 20] = \\ &= 1230 \text{ кал/кг} \end{aligned}$$

или

$$q_2 = \frac{100 \cdot Q_2}{Q_p} = \frac{100 \cdot 1230}{10060} = 12,2\%.$$

Отсюда к. п. д. котла

$$\eta_k = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) = 100 - (1,0 + 6,0 + 0 + 12,2) = 80,8\%.$$

От котла требуется в час  $D = 290$  кг пара при  $p = 100$  ата. Характеристика этого пара такова:

температура перегретого пара . . .	$T_n = 425^\circ \text{C}$
„ насыщения „ . . .	$T_n = 249,2^\circ \text{C}$
теплота перегрева . . . . .	666,4 кал/кг
„ насыщения . . . . .	742,1 кал/кг
„ испарения . . . . .	484,6 кал/кг

Принимая:

температуру питательной воды . . . . .	$70^\circ \text{C}$
влажность пара . . . . .	$1,0\%$

находим тепло, сообщаемое одному кг пара:

$$(257,5 - 70) + 484,6(1 - 0,01) = 667 \text{ кал/кг.}$$

При напряжении поверхности нагрева в  $35 \text{ кг/м}^2$  имеем поверхность нагрева

$$H = \frac{D}{35} = \frac{290}{35} = 8,1 \text{ м}^2.$$

Определяем далее действительное количество воздуха для сгорания 1 кг мазута:

$$L_d = L \cdot \alpha_1 = 14,36 \cdot 1,08 = 15,5 \text{ кг.}$$

Определяем объем этого воздуха при  $60^\circ \text{C}$ :

$$L_{вд} = L_v \cdot \alpha_1 = 13,70 \cdot 1,08 = 14,8 \text{ м}^3.$$

Определяем полное количество топочных газов при сгорании 1 кг мазута:

$$1 + L_d = 1 + 15,5 = 16,5 \text{ кг.}$$

Определяем, наконец, состав продуктов горения при сгорании в топке

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 = m_1 &= \frac{11}{8} \cdot C_p = \frac{11}{8} \cdot 0,8593 = 3,15 \text{ кг;} \\ \text{H}_2\text{O} = m_2 &= 9H + W = 9 \cdot 0,1267 + 0,01 = 1,15 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$\text{N}_2 = m_3 = \text{N}_2 + 0,77\alpha_1 \cdot L_{\text{вл}} = 0,8386 + 0,77 \cdot 1,08 \cdot 14,8 = 12,6 \text{ кг;}$$

$$\text{O}_2 = m_4 = (\alpha_1 - 1) L \cdot 0,23 = 0,08 \cdot 14,36 \cdot 0,23 = 0,265 \text{ кг;}$$

$$\Sigma m = 3,15 + 1,15 + 12,6 + 0,265 = 16,1 \text{ кг.}$$

Испарительность топлива составит:

$$\frac{D}{B} = \frac{Q_p \cdot \eta}{i} = \frac{10060 \cdot 0,95}{667,2} \approx 14 \text{ кг/кг.}$$

Часовой расход топлива при этом будет:

$$B = \frac{D}{D/B} = \frac{290}{14} = 20,5 \text{ кг/час.}$$

При полном использовании мощности двигателя,  $N = 100$  л. с., это определяет удельный расход топлива:

$$\frac{B}{N} = \frac{20,5}{100} = 0,205 \text{ кг/л. с. час.}$$

Принимая напряжение топочного пространства в  $q = 700000$  кал/м<sup>3</sup>, определяем объем топки:

$$V = \frac{BQ_p}{q} = \frac{20,5 \cdot 10060}{700000} = 0,29 \text{ м}^3.$$

Значение  $q = 700000$  кал/м<sup>3</sup> допускаем потому, что в топке работают четыре форсунки, поставленные тангенциально, а конструкция форсунок такова, что обеспечивает турбулентное движение смеси.

Принимаем размеры топки:

$$0,80 \cdot 0,70 \cdot 0,55 = 0,29 \text{ м}^3.$$

Определяем температуру горения в топке

$$T = \frac{Q_p + \alpha_1 \cdot L_{\text{вл}} t_e \cdot C_{\text{рв}}}{V_{\text{гр}} \cdot C_{\text{гр}} + q_{\text{вл}} \cdot C_{\text{вл}}}.$$

Принимая:

$$T_{\text{г}} = 2150^\circ \text{Ц}$$

$$V_{\text{гр}} = 11,3 \text{ м}^3 \text{ — по предыдущему,}$$

определяем:

$$C_{\text{гр}} = 0,314 + 0,00003 \cdot 2150 = 0,378 \text{ кал/м}^3;$$

$$C_{\text{вл}} = 0,450 + 0,00005 \cdot 2150 = 0,557 \text{ кал/м}^3;$$

$$q_{\text{вл}} = 1,15 \text{ кг — по предыдущему;}$$

$$C_{\text{рв}} = 0,3 \text{ — прямая отдача.}$$

Подставляя эти значения, имеем:

$$T_r = \frac{10060 + 1,08 \cdot 14,86 \cdot 70 \cdot 0,3}{11,3 \cdot 0,378 + 1,15 \cdot 0,557} = 2160^\circ \text{Ц.}$$

Действительная температура топки при к. п. д. топки  $\eta = 0,95$  и коэффициенте прямой отдачи  $\sigma = 0,3$  будет:

$$T_d = T_r \cdot (1 - \sigma) \eta = 2160 \cdot (1 - 0,3) \cdot 0,95 = 1430^\circ \text{Ц.}$$

Ниже делаем расчет тяги и дымососа. При сечении дымохода

$$F = 80 \cdot 180 = 14400 \text{ мм}^2 = 144 \text{ см}^2$$

и количестве газов в секунду

$$V_{\text{сек}} = \frac{V_{\text{ср}} \cdot B \cdot (273 + T_{\text{ср}})}{273 \cdot 3600} = \frac{11,3 \cdot 20,5 (273 + 650)}{273 \cdot 3600} = 0,18 \text{ м}^3/\text{сек}$$

скорость газов составит:

$$v = \frac{V_{\text{сек}}}{F_m^2} = \frac{0,18}{0,0144} = 12 \text{ м/сек.}$$

Определяем сопротивление газов при движении через котел:

$$I_k = 0,004 \cdot \left(\frac{D}{H}\right)^2 \cdot \alpha_1^2 - 2 = 0,004 \cdot 35^2 \cdot 1,08^2 - 2 = 4 \text{ мм вод. ст.}$$

Объем газов, проходящих через дымосос при  $T_{yx} = 335^\circ \text{Ц}$ , определится, как:

$$V_{yx} = B \cdot V_{\alpha} \cdot \frac{273 + T_{yx}}{273 \cdot 3600} = 20,5 \cdot 11,3 \cdot \frac{273 + 335}{273 \cdot 3600} = 0,14 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Пусть:

статическое разрежение равно	4	мм	вод.	ст.
потери в дымоходе	"	4	"	"
динамический напор	"	10	"	"
<hr/>				
Итого $h = 18$ мм вод. ст.				

Для возбуждения тяги требуется мощность к вентилятору:

$$N_e = \frac{V_{yx} \cdot h}{75 \cdot \eta_{\text{вент}}} = \frac{0,14 \cdot h}{75 \cdot 0,8} = 0,04 \text{ л. с.}$$

Время, необходимое на разогрев котла от холодного до полного рабочего состояния, при котором котел может обеспечить в час 290 кг пара с теплосодержанием 742 кал/кг, может быть подсчитано следующим образом.

Теплосодержание пара, отпускаемого котлом в один час, составляет, очевидно:

$$290 \cdot 742 = 251872 \text{ кал/час.}$$

При объеме водяного и парового пространства в котле, составляющем  $V=0,02 \text{ м}^3$ , и удельном объеме пара с параметрами  $p=100 \text{ ата}$  и  $t=425^\circ \text{ Ц}$ , равном  $V=0,03 \text{ м}^3/\text{кг}$  легко определить, что весь объем может быть заполнен паром, который может быть получен из

$$\frac{0,02}{0,03} = 0,65 \text{ кг}$$

воды.

Примем, что для растопки, учитывая разные потери, нам достаточно воды в три раза больше, т. е.

$$0,67 \cdot 3 \approx 2 \text{ кг.}$$

Принимаем для ориентировочного расчета:

Вес всех водяных трубок . . . . .	$q_T = 180 \text{ кг}$
Среднюю температуру трубок . . . . .	$t_T = 450^\circ \text{ Ц}$
Удельную теплоемкость трубок . . . . .	$C_T = 0,115$
Вес всей кладки . . . . .	$q_K = 110 \text{ кг}$
Среднюю температуру кладки . . . . .	$t_K = 1000^\circ \text{ Ц}$
Удельную теплоемкость кладки . . . . .	$C_K = 0,2$
Количество воды в системе . . . . .	$q_B = 2 \text{ кг}$
Теплосодержание пара . . . . .	$i = 742 \text{ кал/кг.}$

Тогда для приведения всей системы в состояние, отвечающее рабочему, необходимо затратить тепла:

$$Q_T = q_T \cdot t_T \cdot C_T + q_K \cdot t_K \cdot C_K + q \cdot i = 180 \cdot 450 \cdot 0,115 + 110 \cdot 1000 \cdot 0,2 + 2 \cdot 742 = 32799 \text{ кал.}$$

Допуская при форсированной работе топки напряжение топочного пространства до  $800000 \text{ кал/м}^3$  и к. п. д. котла  $\eta_K = 0,8$ , будем иметь для этого случая затраты:

$$\text{топлива: } B = \frac{0,29 \cdot 800000}{10060} = 25 \text{ кг,}$$

$$\text{тепла: } Q = 25 \cdot 10060 \cdot 0,8 = 201200 \text{ кал/час.}$$

При этих условиях искомое время разогрева котла до установившегося нормального режима составит:

$$H \approx \frac{Q_T}{Q} = \frac{32799}{201200} = 0,163 \text{ часа,}$$

или

$$H_{\text{макс}} = 9,75 \text{ минуты.}$$

Пар более низкого ( $p < 100 \text{ ата}$ ) давления котел, разумеется, начнет давать раньше.

Для тяжелого 8-тонного грузовика это время растопки более чем допустимо, ибо перед выездом — на осмотр, смазку и т. п. — уйдет 10—15 минут, в течение которых будет готов и котел.

## СООБРАЖЕНИЯ И ДАННЫЕ ДЛЯ ПОДБОРА КОТЛОВ САМОХОДОВ OVERTURE

Ниже мы даем несколько таблиц и сообщаем несколько данных, которыми допустимо пользоваться, на наш взгляд, при расчете паровых котлов паровозного типа для самоходов класса Overture, мало чем отличающихся по режиму работы и общему поведению на безрельсовой дороге от рельсовых паровозов.

Эта аналогия позволяет нам допустить ряд аналогий и в расчетной части.

### А. Поверхность нагрева котлов

Нужно сразу же оговориться, что при подборе поверхности нагрева сейчас решительно нельзя опираться на какие-то „нормальные“ и „нормально-допустимые“ паропроизводительности одного кв. метра поверхности нагрева.

Дело в том, что эта паропроизводительность, считавшаяся до последнего десятилетия чем-то постоянным, присущим котлу данного типа и зависящим только от рода топлива, в настоящее время в связи с успехами котельной техники не может быть принята без серьезных оговорок.

Если когда-то для таких котлов, как котлы *Гарбе*, *Бабкок-Вилькокс* и др. считалась „нормальной“ паропроизводительность порядка  $12 \div 14 \text{ кг/м}^2 \text{ час}^1$ ), то в настоящее время эта „норма“ поднята в 2-3 раза выше и считается не столько функцией котла, сколько функцией топки и топлива.

Правильное распределение воздуха и подогрева последнего, правильная конфигурация топки и ее объем, обеспечение хорошей тяги и правильное ведение режима горения — вот основные факторы, обеспечивающие паропроизводительность парового котла, предназначенного „делать пар“ нужных парометров.

В транспортной технике (тяга поездов), где работа и „истощение“ котла связываются с числом оборотов ведущего колеса, паропроизводительность котла издавна связывается с работой колеса и рассматривается, как функция числа оборотов колеса в секунду.

В общем виде эта функция может быть представлена, как

$$\frac{N_e}{H} = f(u), \quad (8)$$

где:  $N_e$  — действительная мощность в л. с., развиваемая самоходом,  $H$  — поверхность нагрева котла в  $\text{м}^2$ ,  $u$  — число оборотов колеса (ведущего) в секунду.

Вид этой функции для рельсовых паровозов, согласно вы-

---

<sup>1)</sup> Гагаринко А. П., проф. Паровые котлы, 1907.

водов G. Lotter'a и Borris'a, при некоторых опытных коэффициентах  $a$  и  $b$ , таков:

$$\frac{N_e}{H} = a \sqrt{u} \quad (9)$$

или

$$\frac{N_e}{H} = a + b\sqrt{u}. \quad (10)$$

Согласно же исследованиям Рихтера:

$$\frac{N_e}{H} = 0,775 (a - 0,6 \text{ и}) \sqrt{u}, \quad (11)$$

где:

$a = 6,0$  — для паровозов насыщенного пара при машинах одиночного расширения,

$a = 6,5$  — для паровозов насыщенного пара при двухцилиндровых машинах двойного расширения,

$a = 7,0$  — для паровозов перегретого пара при машинах одиночного расширения,

$a = 7,5 \div 8,0$  — для паровозов перегретого пара с машинами двойного расширения.

Ниже приводим еще табл. 11, содержащую значения  $\frac{N_e}{H}$ , составленные Borris'ом и дополненные Lotter'ом.

Здесь обозначено:

$H$  — поверхность испарения  $\text{м}^2$ ,

$H_n$  — поверхность пароперегревателя  $\text{м}^2$ ,

$R$  — площадь колосник. решетки  $\text{м}^2$ ,

$p$  — давление пара ат,

$I$  — объем одного цилиндра в литрах (литраж); причем для компаундов это — цилиндр высокого давления;

$u$  — число оборотов ведущего колеса в секунду при прямой передаче от поршня на колесо (без промежуточных передач с отношением, отличным от  $i = 1:1$ ).

Данные этой таблицы составлены для следующих условий работы:

1. Отопление хорошим каменным углем. При угле очень высокого качества цифры таблицы могут быть повышены на  $10 \div 15\%$ .

2. Отношение  $\frac{I}{H}$  связывается со скоростью. С возрастанием этого отношения работа увеличивается на малых скоростях и уменьшается при больших скоростях.

3. При одновременном увеличении факторов  $p$ ,  $\frac{I}{H}$  и расширении пара в машине, при машинах двойного расширения, работа значительно возрастает.

Пар	Паро- возы	Машина	$\frac{H}{R}$	$\frac{H_n}{R}$	$\frac{p}{(ат)}$	$\frac{I}{H}$	Отношение $\frac{N_e}{H}$ при $u$ об/сек.									
							1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Насыщен- ный	Пасс.	Двойня . . . . .	50 — 60	—	12	0,80	—	4,2	4,5	4,8	5,0	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6
		Компаунд:														
		2 - цили. . . . .		—	12	0,85	—	4,5	5,1	5,6	6,0	6,4	6,7	6,9	7,0	7,1
		4 - цили. . . . .		—	14	0,85	—	5,9	6,3	6,7	7,0	7,2	7,4	7,6	7,7	7,8
	Тов.	Двойня . . . . .	55 — 65	—	10	0,85	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	—	—	—	—	—
		Компаунд . . . .		—	12	0,90	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0	—	—	—	—	—
Перегре- тый	Пасс.	Двойня . . . . .	42 — 60	11 — 17	12	0,87—1,5	—	7,0	7,5	8,0	8,3	8,6	8,8	9,0	9,2	9,3
		Компаунд:														
		2 - цили. . . . .	40 — 55	10 — 14	12	0,8 — 1,2	—	7,5	8,2	9,3	10,0	10,7	11,2	11,5	11,7	11,8
		4 - цили. . . . .	39 — 52	10 — 12,5	14	0,74—0,9	—	9,8	10,5	11,2	11,7	12,0	12,3	12,8	12,8	13,0
	Тов.	Двойня . . . . .	46 — 62	11 — 19	12	1,45—1,7	6,4	6,4	7,0	7,5	7,9	8,2	—	—	—	—
		Компаунд . . . .	40 — 44	9 — 10,2	13	0,93—1,3	6,6	6,6	7,3	7,8	8,3	8,6	—	—	—	—

4. Цифры таблицы даны при условии, что разрежение в дымовой коробке имеет порядок 75—100 мм водяного столба.

5. В случае повышения давления  $p$  до некоторого  $p_1$  производительность  $A = \frac{N_e}{H}$ , указанная в таблице, возрастает и может быть рассчитана по формуле:

$$A' = A \sqrt{\frac{p_1}{p}}. \quad (12)$$

6. В случае уменьшения  $p$  до некоторого  $p''$  производительность должна быть определена по формуле:

$$A'' = \frac{A}{\sqrt{\frac{p}{p''}}}. \quad (13)$$

7. Указанные в таблице значения  $\frac{H}{R}$  даны для длиннопламенных углей; для короткопламенного топлива (антрацит)  $\frac{H}{R} = 20 \div 30$ ; для кокса, вследствие его пористости:  $\frac{H}{R} = 90 \div 100$ .

Кроме приведенных формул, позволяем себе привести еще формулы Франка, который дает:

а) для товарных паровозов насыщенного пара:

$$\frac{N_e}{H} = 0,6 + 0,527 \sqrt{V \text{ км/час}}; \quad (14)$$

б) для пассажирских паровозов насыщенного пара:

$$\frac{N_e}{H} = 0,617 \sqrt{V \text{ км/час}}; \quad (15)$$

в) для паровозов перегретого пара:

$$\frac{N_e}{H} = a + b \sqrt{u}, \quad (16)$$

где  $a$  и  $b$  могут быть взяты из таблицы 12 (см. стр. 94).

Собственно говоря, приведенные выше формулы не обеспечивают точных результатов, поскольку в них не учитывается *качество топлива*, между тем, совершенно очевидно, что число лошадиных сил, снимаемых с кв. метра поверхности нагрева котла при данном режиме, будет меньшим при отоплении котла дровами, нежели в том случае, когда топливом будет мазут.

Мы не можем не отметить, впрочем, что в свое время был ряд попыток дать такие формулы, которые учитывали бы и качество топлива.

Таблица 12

Кoeffициент	Температура перегрева °Ц	Пассажирские паровозы			Товарные паровозы	
		Двойни 2-цил.	Двойни 4-цил.	Компаунд 4-цил.	Двойни	Компаунды
a	до 320°	4,1	4,5	4,9	2,88	3,20
	до 360°	4,5	4,9	5,4	3,20	3,50
b	до 320°	1,53	1,68	1,83	1,92	2,10
	до 360°	1,68	1,83	2,10	2,10	2,30

Не касаясь этого вопроса подробно, мы отсылаем читателя к специальной литературе<sup>1)</sup> и заметим только, что одна из русских работ (инж. *Попырева*), в которой дана формула, определяющая паропроизводительность паровозного котла в зависимости от поверхности нагрева, площади колосников, скорости горения и теплотворной способности топлива, вызвала в свое время большую дискуссию в Америке<sup>2)</sup>.

Среди формул последней группы, интересных и со стороны принципиальной и со стороны структурной, нужно отметить формулы Междоуштанной торговой комиссии США, которые после некоторой их модернизации могли бы быть приспособлены для расчета котлов паровых самоходов рассматриваемого (паровозного) типа.

Формулы эти даются нами в их „натуральном“ виде, в каком они предложены для паровозов:

$$E = \frac{R \cdot K}{H \cdot (p_k - 1)} - \frac{885 \cdot R \cdot p_k}{H \cdot y} - \frac{0,0003125 \cdot K \cdot y}{700 - t} \quad (17)$$

$$E = \frac{0,75 \cdot R \cdot K}{H \cdot (p_k - 1)} - \frac{885 \cdot R \cdot p_k}{H \cdot y} - \frac{0,0003125 \cdot K \cdot y}{700 - t} \quad (18)$$

$$E = \frac{1,12 \cdot R \cdot K}{H \cdot (p_k - 1)} - \frac{990 \cdot R \cdot p_k}{H \cdot y} - \frac{0,000362 \cdot K \cdot y}{700 - t} \quad (19)$$

В этих формулах введены следующие обозначения:

$E$  — количество кг пара на кг топлива,

$R$  — зеркало горения м<sup>2</sup>;

$K$  — калорийность топлива кал;

$H$  — полная поверхность нагрева м<sup>2</sup>;

$p_k$  — манометр. давление в котле кг/см<sup>2</sup>;

$y$  — скорость горения кг/м<sup>2</sup> час;

$t$  — температура пара °Ц.

<sup>1)</sup> Инж. *Попырев*. К вопросу о зависимости между к. п. д. паровозного котла и степенью его форсировки, „Вестн. инж.“, № 23, 1915.

Инж. *Лебедев*. Некоторые выводы из опытных данных о силе тяги и паропроизводительности нефти для пассаж. паровозов с пароперегревателями. 1917.

<sup>2)</sup> The evaporative capacity of Locomotive Boilers, „Railway Mechanical Engineer“ № 8 — 9, 1925.

Формулы применяются:

первая — при  $\frac{H}{R} \geq 55$ ,

вторая — при  $\frac{H}{R} < 55$ ,

третья — для котлов с подогревом питательной воды до  $t = 80^\circ \div 90^\circ \text{Ц}$ .

Разумеется, что все эти формулы не могут претендовать на полную точность и полную пригодность для применения к расчету котлов самоходов без ряда специальных поправок, которые должны быть установлены в результате опытов.

Поэтому мы приводим их только для того, чтобы наметить путь, по которому надо бы пойти при расчете котлов, о которых здесь идет речь.

Критику формул и вопрос о их точности можно отыскать в специальной литературе, к каковой и отсылаем<sup>1)</sup> читателя.

Чрезвычайная сложность явлений, сопутствующих работе транспортной машины, работающей в непрерывно меняющихся условиях — и атмосферных и дорожных, — не позволяет построить таких аналитических формул, которые, учитывая все переменные величины факторов, влияющих на работу котла, давали бы точные, а не условные решения.

В силу этого для рассматриваемого случая поверхность нагрева котла совершенно допустимо подбирать по приведенным в настоящей главе средним измерителям, а равно по тем соотношениям, какие нами приводились при рассмотрении конструкций котлов.

Что касается исследования рабочего процесса котла и определения характерных для него данных при том или ином условном режиме, то эти задачи могут быть проделаны по тому же плану, какой лежит в основе примера расчета котла приведенного нами выше<sup>2)</sup>.

## Б. Соображения по вопросу расчета температур

Разумеется, что температуры в топке котла для данного условного режима его работы могут быть подсчитаны, как и теплосмкость дымовых газов<sup>3)</sup> по ряду соображений и теоретических формул.

<sup>1)</sup> Мартынов А. С. К вопросу о нормировании топлива на паровозах, „В. инж.“, № 7, 1925, стр. 253—257.

„Локомотивостроение“, сборн. НИИЛ ВСНХ СССР, Москва, № 1, 1931, стр. 48—59; № 2, 1932, стр. 115—117.

Мартынов А. С. Важнейшие факторы работы паровозного котла (по данным Олунской станции Пенсильв. ж. д.), „Локомотивостроение“, № 2, 1932, стр. 18—22.

<sup>2)</sup> См. напр. „Изв. теплотех. инст.“ № 1 (14), 1926.

<sup>3)</sup> См. также: И. А. Комлев. Локомотив, расчет и конструирование, Москва, 1931.

При определении размеров котлов транспортных машин этот путь вряд ли окажется правильным, ибо обычное пользование точными формулами для подсчета теплоемкости и температур весьма кропотливо, а точность, которая при этом достигается, немедленно же поглощается теми неточностями, которые имеются в расчетах или определениях коэффициентов теплопередач.

У транспортных машин, работа которых чрезвычайно переменна, режим котла меняется часто и интервал между разными режимами тем меньше, чем резче изломан продольный профиль и чем чаще меняется тип и одежда дороги.

Поэтому для этих котлов совершенно достаточно, для ориентировок в положении, пользоваться некоторыми эмпирическими зависимостями, полученными из опытов в виде некоторых средних характеристик.

В частности для котлов паровозного типа самоходов Over-ture могли бы оказаться пригодными формулы проф. Сыромят-никова<sup>1)</sup>, которые и приводим ниже для разных мест и сечений котлов названного типа:

а) Для определения действительной температуры в топке:

$$T_r = \frac{10000}{3,5\alpha + 0,0003y + 1,2} \quad (20)$$

точность формулы около 1%.

б) Для определения температуры в топке у отверстий задней трубной доски (у входа в дымогарные трубки):

$$T_d = 336 \left( \frac{B_h}{H_r} \right)^{0,3} - 0,0001 \left( \frac{B_h}{H_m} \right). \quad (21)$$

Точность формулы 3—4%.

в) Для определения температуры газов, уходящих из дымо-гарных трубок:

$$T_{yx} = \frac{480}{H_r} \cdot r^{0,6} (\gamma \cdot B_h)^{0,55} - 3,4 r^{0,1} \left( \frac{\gamma B_h}{H_r} \right)^2. \quad (22)$$

г) Для определения температуры в любом месте пути горячих газов в зависимости от измерителя:  $\frac{B}{4}$

$$T^{2,35} = 33860000 - \frac{2641000000}{\frac{B}{H} + 78}. \quad (23)$$

В приведенных формулах введены следующие обозначения:

$\alpha$  — коэффициент избытка воздуха,  
 $y$  — интенсивность горения кг/м<sup>2</sup> час,

<sup>1)</sup> „Тех. и Эконом. пут. сообщ.“ № 1-2, 1921, стр. 33—41 и последующ. работы „Исследов. рабочего процесса паровозного котла“.

$B_h$  — часовой расход топлива кг,

$H_m$  — поверхность нагрева топки  $m^2$ ,

$H_r$  — поверхность нагрева дымогарных трубок  $m^2$ ,

$r$  — средний гидравлический радиус сечения дымогарной трубки мм,

$\gamma$  — доля газов, поступающих в трубки.

$B$  — полное количество топлива, сгорающее в 1 час в кг (к уравнению „г“),

$H$  — оmyаемая газами поверхность в  $m^2$  до места, где определяется температура; говоря о топочных температурах, через  $H$  обозначаем поверхность нагрева топки; говоря о температурах за топкой, через  $H$  обозначаем величину всей поверхности нагрева, оmyтой газами, включая и перегреватель, если таковой имеется.

Приведенные здесь формулы даны из опытов над котлами, работающими на жидком топливе.

Для приспособления формул к другим видам топлива в расчеты надо ввести и так называемый „нефтяной эквивалент“, т. е. то количество нефти  $B_h'$ , при сжигании которого развивается то же количество тепла, что и при сжигании  $B_h$  кг данного топлива, при котором выполняется расчет.

Если  $K$  — теплотворная способность заданного топлива, а 10000 — она же для жидкого топлива, то

$$B_h' = B_h \cdot \frac{K}{10000}. \quad (24)$$

Зависимость температур  $T_d$  и  $T_{yx}$  от избытка  $\alpha$  воздуха не установлена и до сих пор. Ее пытались установить для паровозов проф. Ломоносов Ю. В., Сыромятников С. П. и другие, вопрос об этой зависимости надо пока считать открытым.

## В. Соображения и формулы к расчету коэффициента теплопередачи

Вопрос о коэффициенте  $K_d$  теплопередачи в дымогарных трубах паровозного котла имеет свою историю, небезыntересную для котла самохода этого же типа.

Так:

а) По *Redtenbacher*'у

$$K_d = 23 \frac{\text{кал}}{m^2 \text{ час} - 1^\circ}. \quad (25)$$

б) По *Н. П. Петрову*:

$$K_d = 75 \text{ и выше}. \quad (26)$$

в) По *Молье*:

$$K_d = 8 + 10 \sqrt{V_a}, \quad (27)$$

где:

$v_d$  — скорость протекания газов по трубкам.

г) По Е. Е. Нольтейну, на основании опытов *Сера*:

$$K_d = 18 + 36(1 - 0,75v_d^{-1}) \quad (28)$$

д) По *Ломоносову*:

$$K_d = 6 + 4,4\sqrt{v_d}. \quad (29)$$

Точность формулы 5%.

е) По *Hütte*

$$K_d = 19,23 \frac{\lambda_c}{d^{1,786}} \cdot \left( \frac{G \cdot C_p}{\lambda} \right)^{0,786} \quad (30)$$

где:

$d$  — внутренний диаметр трубок мм,

$G$  — вес газов сгорания,

$C_p$  — теплоемкость,

$\lambda$  — коэффициенты теплопроводности газов при средней температуре внутри трубок,

$\lambda_c$  — тоже при температуре стенок.

Часто встречающееся предложение

$$K_d = 54 = const \quad (31)$$

в применении к котлам транспортных машин часто приводит к абсурдным результатам.

Из приведенных выше формул мы предпочитаем для котлов паровозного типа пользоваться формулой проф. Ломоносова.

При расчетах  $K$  отдельно для топки и дымогарных трубок могут быть рекомендованы формулы проф. Ломоносова и проф. Сыромятникова, помещаемые нами ниже.

а) Для топки:

$$K_T = 23 \sqrt{\frac{B_h}{H_T}}. \quad (32)$$

Точность формулы 6—8%.

б) Для дымогарных трубок:

$$K_d = 15 \sqrt{\frac{B_h}{H_T}}. \quad (33)$$

Мы сознательно привели ряд формул — и притом пользующихся известностью — для того, чтобы показать, насколько разноречивы предлагаемые данные, с которыми приходится иметь дело при расчетах котлов транспортных машин с их сложным и переменным режимом работы.

Это же указывает настоятельную необходимость опытных проверок всех этих данных, в частности для котлов паровых самоходов.

## Г. Соображения к расчету форсового конуса

Для получения тяги в котлах паровозного типа пользуются энергией отработанного пара, выхлоп которого направляется в дымовую трубу через особый конический насадок (конус) постоянного или переменного сечения.

Этот метод применяется и у ряда других котлов самоходов (см. фиг. 48, 49).

Для расчета размеров конуса <sup>1)</sup> предложен ряд формул, из коих старейшая принадлежит Цейнеру (1863 г.), которым произведен и теоретический разбор явлений, имеющих место при работе конуса.

Формула Цейнера, данная для расчета конуса при цилиндрической дымовой трубе, имеет вид:

$$\frac{L}{D} = \sqrt{\frac{\frac{f_a}{f_b} - 1}{\mu \left(\frac{f_a}{f}\right)^2 + 1}} \quad (34)$$

Здесь:

$L$  — объем воздуха, поступающего в топку для горения, м<sup>3</sup>/сек,

$D$  — объем пара, поступающего в конус, м<sup>3</sup>/сек,

$f_a$  — площадь наиболее узкого сечения дымовой трубы, м<sup>2</sup>,

$f_b$  — площадь сечения отверстия конуса, м<sup>2</sup>.

Расчет конуса по этой формуле не всегда приводит к удачным результатам, ибо коэффициент  $\mu$ , которым надо задаться при расчетах, имеет диапазон  $\mu = 3 \div 6$  и сам Цейнер не дал точных указаний, которыми обуславливался бы выбор той или иной величины этого коэффициента.

Более удачные решения получаются при пользовании формулой Штраля, который, имея исходным уравнением уравнение живых сил, дал формулу следующего вида:

$$f_b = \frac{\varepsilon f_n}{\lambda \left(1 + \frac{Q}{D}\right)^2 + c \cdot K \cdot \left(\frac{f_n}{R}\right)^2 \cdot \left(\frac{Q}{D}\right)^2} \quad (35)$$

Здесь:

$f_b$  — площади сечения устья конуса, м<sup>2</sup>,

$f_n$  — площадь сечения дымовой трубы у основания, м<sup>2</sup>,

$\varepsilon = \frac{W}{W_1}$  — отношение удельного объема пара, вытекаемого из

<sup>1)</sup> Корчевский Б. И. О расчете конусных устройств, „Изв. южно-русс. общ. технологов“, Харьков, № 7-8, 1912.

Лодыженский, проф. Конусы, дымовые трубы и поддувала паровозов. Киев, 1927.

Гавриленко, проф. Паровые котлы. 1907.

Мухачев П. М., проф. Паровозы.

конуса к удельному объему смеси пара и газов (для насыщенного пара Штраль рекомендует принимать  $\epsilon = 1$ ),

$Q$  — вес газов, проходящих через трубу, кг/сек,

$D$  — вес пара, поступающего в конус, кг/сек,

$R$  — площадь колосниковой решетки,  $\text{м}^2$ ,

$C = 9,81 \gamma_1$  — коэффициент, в котором  $\gamma_1$  есть удельный вес смеси пара и газа — по Штралю, составляющий  $C = 6$ ,

$\lambda = \frac{1}{2} \left[ 1 + \left( \frac{f_n}{f_0} \right)^2 \right]$  — коэффициент, равный для цилиндрической дымовой трубы 1,0, так как отношение площадей сечений у основания трубы и в верхней ее части (в конце) составляет  $\frac{f_n}{f_0} = 1$ ,

$K$  — коэффициент, зависящий от сопротивления газоходов, равный

$$K = a_1 \left( \frac{R}{f_a} \right)^2 + a^2 + \beta \frac{R}{f_m}.$$

В последнем выражении обозначено:

$a_1$  — коэффициент, характеризующий среднее сопротивление проходу воздуха через отверстия в поддувале,

$a_2$  — тоже — через слой топлива,

$\beta$  — тоже — через дымогарные трубки,

$f_a$  — площадь сечений отверстий поддувала,  $\text{м}^2$ ,

$f_m$  — живое сечение дымогарных трубок,  $\text{м}^2$ .

Таким образом, в формуле Штраля фактически неизвестен только коэффициент  $K$ , так как все прочие величины берутся из чертежа, с натуры, или из расчета.

Для определения  $a_1$ ,  $a_2$  и  $\beta$  Штраль рекомендует общий метод, выражаемый уравнением:

$$\Delta S = a \left( \frac{Q}{f} \right)^2, \quad (36)$$

где:

$\Delta S$  — сопротивление данного участка газохода (поддувала, слоя топлива, дымогарных трубок и др.) в мм водяного столба,

$a$  — искомый коэффициент сопротивления,

$Q$  — количество дымовых газов, проходящих через газоход, кг/сек (для поддувала — количество воздуха),

$f$  — площадь поперечного сечения газохода (для колосниковой решетки и слоя топлива — площадь решетки) в  $\text{м}^2$ .

Это решение в достаточной степени сложно, как и вообще все решение задачи о конусе по Штралю.

Наиболее просто диаметр конуса определяется уравнением:

$$d = 0,156 \sqrt{\frac{SR}{S + 0,3R}}, \quad (37)$$

где:

$S$  — сумма поперечных сечений дымогарных трубок в  $\text{м}^2$ ,

$R$  — площадь колосниковой решетки в  $\text{м}^2$ .

Столь простую формулу, пригодную для практики, особенно, если конус проектируется с переменным сечением (с „грушей“ и т. п.), можно допустить для самохода потому, что отношение количества продуктов горения к выхлопному конусом пару *не зависит явно от давления в конусной трубе и остается* более или менее постоянным при неизменности величины сопротивления продуктов горения движению и неизменности размеров вытяжного устройства.

У самоходов, имеющих машины с парораспределением Штумпфа, в целях улучшить работу конуса, „срывающего огонь“ в топке при резких выхлопах, рекомендуется устраивать *паровые мешки*, в которые и выпускать пар, отработанный в машине, направляя последний в конус из мешков.

Мы, к глубокому сожалению, не можем дать типичных для самоходов цифровых данных, характеризующих работу конусов, ибо нигде не разыскали этих цифр среди опубликованных испытаний и потому, в целях ориентировки, ниже даем ряд цифр (табл. 13), взятых из

Таблица 13

№ по порядку	Напряж. решетки кг/м <sup>2</sup> час	Напряж. поверхн. нагр. кг/м <sup>2</sup> час	Избыток воздуха в дымов. коробке	Разрежение мм вод. ст.						Сопротивл. мм вод. столба			Искрогасителя	Примечание
				В поддувале	В топке	В дымовой коробке		За искрогаси- телем	Слоя топлива	Котла	Пароперегре- вателя			
						За кот- лом	За пере- грева- телем							
1	72,0	15,48	1,45	2,32	4,86	10,3	—	—	2,54	5,44	—	—	Топливо — камен. уголь 7590 кал/кг; питат. вода 38°; котел. — локомот. Вольфа. Уголь П. С. Котел — локомот. Людин. зав.; напряж. — по нормальному пару. Топливо — березовые дрова; котел паровозного типа. Людиновского завода; вода 20°; напряж. по питат. воде. Топливо — березовые дрова; котел — цилиндрический, Людин. завода; напряж. по нормальному пару.	
	119,0	23,70	1,64	3,35	6,50	12,0	—	—	3,15	5,50	—	—		
2	125,0	27,4	—	2,00	7,00	12,4	17,1	—	5,00	5,40	4,70	—		
	163,0	31,4	—	1,70	8,80	18,7	22,8	—	7,10	9,90	4,10	—		
3	232,0	25,3	—	2,30	2,90	8,80	—	—	0,60	5,90	—	—		
	273,0	29,0	—	1,90	2,50	12,10	—	—	0,60	9,50	—	—		
4	199,0	20,2	1,64	1,30	1,60	9,20	—	26,00	0,80	7,60	—	16,80		
	262,0	27,6	1,41	2,60	4,60	11,0	—	40,00	2,00	6,40	—	29,00		

опытов<sup>1)</sup> над локомотивами, сделанных *Гутермутом* (локомотив Вольфа) и *Кустовым* (локомотив Людиновского завода).

Кроме данных этой таблицы, отчасти характеризуют положение вопроса цифры табл. 10, где приведены результаты испытания котла парового самохода Людиновского завода.

## ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ И ПОДОГРЕВАТЕЛИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

### Конструкция

При рассмотрении паровых котлов самоходов, сделанном выше, нами были попутно приведены и некоторые сведения о пароперегревателях и подогревателях питательной воды. Поэтому из настоящей главы, чтобы не повторяться, нами исключены все конструкции этого рода, данные о которых были уже приведены.

Пароперегреватели котлов паровых самоходов всех типов представляют собою, главным образом, трубчатые змеевиковые системы, большей или меньшей длины и сложности, расположенные на пути топочных газов, уходящих из котла, реже расположенные в пламени огневой коробки.

Если рассмотреть конструкции паровых котлов, приведенные выше, то можно видеть следующие типы и расположения пароперегревателей:

а) пароперегреватели змеевикового типа, расположенные за дымогарными или за водяными трубками котлов (фиг. 32, 42, 44, 47, 48, 49) в дымовых коробках или у выхода из огневых коробок;

б) расположенные непосредственно в первом пламени топки, вернее, огневой коробки, перед входом в дымогарные трубки (фиг. 51, 52);

в) расположенные в уширенных жаровых трубках (фиг. 40), выполненные по типу паровозных перегревателей Шмидта;

г) расположенные за водяными трубками и выполненные не в виде змеевиков (фиг. 55—57).

Если у котлов *Undertype* число оборотов змеевиков пароперегревателей сравнительно невелико, поскольку таковые располагаются в зонах высоких температур, то у котлов самоходов *Overtypе* число змеевиков, располагаемых в дымовых коробках—за длинными дымогарными трубками (т. е. в зонах сравнительно низких температур),—сравнительно велико (фиг. 32).

У самоходов этого последнего типа, особенно у самоходов большой мощности, пароперегреватели, располагаемые в дымовых коробках, получают большие размеры и в этих случаях приходится прибегать к системам кольцевого (фиг. 63, 64) и под-

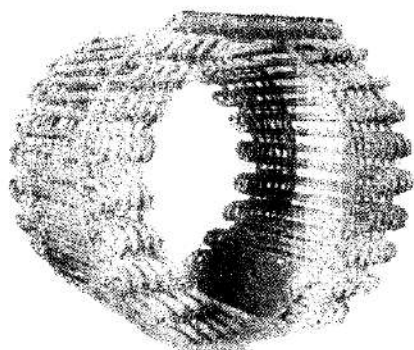
---

<sup>1)</sup> Кожлев И. А. Локомотив, стр. 214, Москва, 1931.

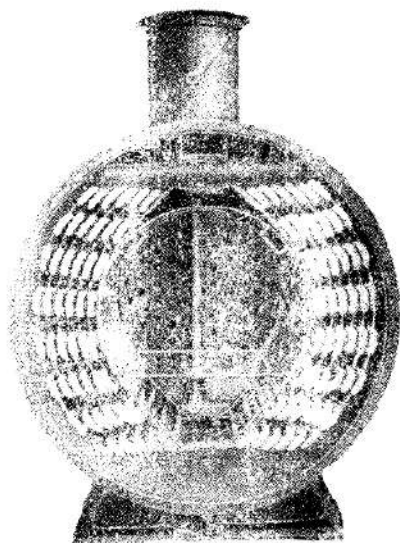
жовообразного (фиг. 65) вида, располагаемым в дымовых коробках котлов точно так же, как и у локомотивей.

Такого рода пароперегреватели, состоящие из пучков трубок, расположенных горизонтально, параллельными петлями и примыкающих концами к парособирательным коробкам, строятся обычно по принципу *противотока* (пар и газы идут навстречу друг другу).

Достоинством этих систем является то, что они не загораживают дымогарных трубок и легко включаются, а равно и выключаются, при помощи *кольцевых заслонок* (фиг. 64), позволяющих пропускать газы так, чтобы они обогрели пароперегреватель, либо так, чтобы они шли мимо перегревателя в дымовую трубу.



Фиг. 63



Фиг. 64

Что касается пароперегревателя типа Шмидта, то он располагается в уширенных дымогарных (жаровых) трубках (фиг. 66), концы которых укрепляются в коллекторе, разделенном на две части, первая из коих составляет парособираатель насыщенного, а вторая — перегретого пара. Каждая трубка перегревателя имеет четыре ветви (перегреватель этого типа принадлежит котлу паровозного типа самохода Heilbronn).

Величина поверхности  $H_n$  перегревателя составляет у самоходов 0,12 — 0,30 от величины полной поверхности нагрева  $H$  парового котла, т. е.

$$H_n \approx (0,12 \div 0,30) H.$$

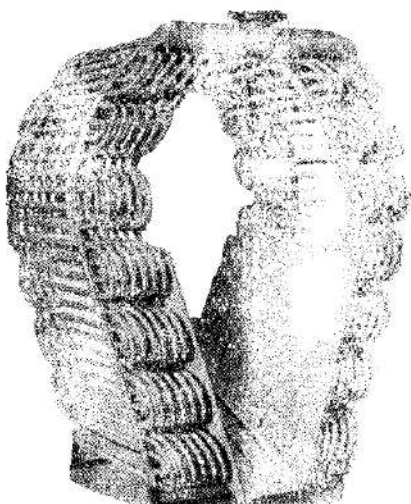
Температура перегрева доводится до 430 — 450° Ц.

Что касается подогревателей питательной воды, то о них надо сказать следующее.

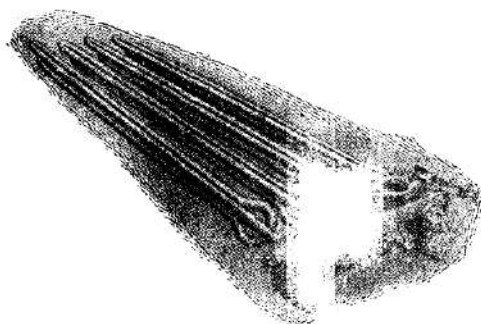
Часть из них выполняется в виде змеевиковой конструкции,

обогреваемой отработанным паром (фиг. 45) и подвешиваемой на пути уходящего пара. Другая часть выполняется в виде ребристых труб (радиаторов), располагаемых на пути уходящих из котла газов (фиг. 51).

Наконец, имеет место применение подогревателя в виде самостоятельного устройства для



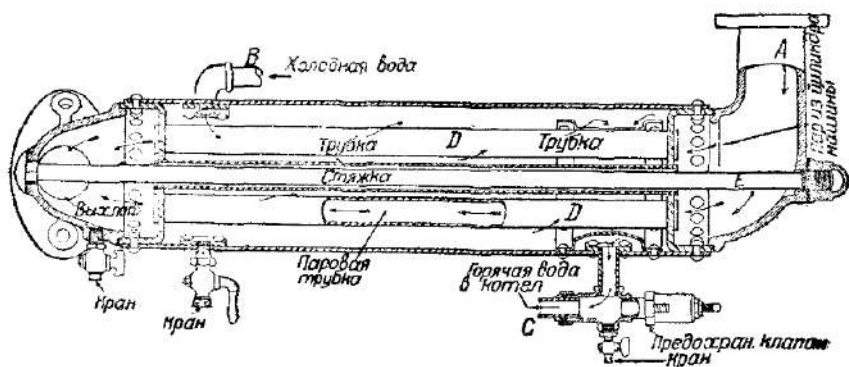
Фиг. 65



Фиг. 66

подогрева отработанным паром без применения змеевиковой системы.

Примером последней конструкции может служить водоподогреватель самохода „Кейс“, представленный на фиг. 67 и работающий по принципу противотока.



Фиг. 67

В этой конструкции имеем:

А — впуск пара, отработанного в машине,

В — впуск подогреваемой воды,

С — выпуск нагретой воды,

Д — паровые трубы.

Вся система заключена в стальной цилиндр с фасонными головками по концам последнего, связанными тягой  $E$ , и имеет краны для спуска конденсата.

Подогрев воды у самоходов доводится до температуры порядка  $160^\circ \text{C}$ .

### Теоретические соображения

Пароперегреватели, как мы уже отмечали выше, строятся для самоходов с поверхностями нагрева до  $0,30$  поверхности нагрева котла для перегрева пара до  $t = 450^\circ \text{C}$ .

С точки зрения принципиальной температуру перегрева следует доводить до такого предела, при котором пар, впускенный в машину, обращается в насыщенный не ранее конца выхлопа; еще лучше, если пар в период выхлопа будет еще немного перегрет.

Методы определения температур для таких условий можно найти как в курсах термодинамики<sup>1)</sup>, так и в статьях, поэтому мы на теории этого вопроса не останавливаемся.

Но есть и *специальные соображения* для транспортных котлов, которыми мы и займемся.

Проф. Формаковский<sup>2)</sup> предлагает определять температуру пара в момент отсечки впуска по условию:

$$t_0 = t + \frac{\left(\frac{W_n}{W} - 1\right)(\lambda - 476)}{C_p}, \quad (38)$$

где:

$W_n$  — удельный объем перегретого пара,

$W$  — удельный объем насыщенного пара,

$\lambda = 476 + 4 A p W$  — теплота сухого насыщенного пара,

при  $A = \frac{1}{427}$  и давлении пара  $p$  кг/см<sup>2</sup> в момент от-

сечки, равном  $(p_{\text{кот}} - 0,5)$  кг/см<sup>2</sup>;

$C_p$  — средняя теплоемкость перегретого пара давлением до  $15$  ат при постоянном давлении, принимаемая при  $t < 360^\circ \text{C}$  за  $0,55$ .

Так как  $t_0$  — температура в момент отсечки впуска, то температуру пара в момент выхлопа рекомендуется принимать по формуле:

$$t_n = t_0 + (0,08 \div 0,10) t_0. \quad (39)$$

Расчеты показывают, что, при котлах низкого давления ( $p = 12 - 13$  ат), для того, чтобы машина работала без конденсационных потерь в цилиндрах, температура пара при выходе

<sup>1)</sup> Погодин. Термодинамика, „Вестн. общ. технол.“, 1910, стр. 10.

<sup>2)</sup> Формаковский В., проф. Перегретый и др. пар в паровозах большой мощности, К., 1911.

из перегревателя должна быть, примерно,  $t_n = 360 \div 365^\circ \text{C}$  для машин простого расширения и  $t_n = 420 \div 450^\circ \text{C}$  — для машин компаунд.

Такие температуры, как известно, в локомотивах достигнуты давно <sup>1)</sup>; равным образом они достигнуты и у паровозов и открыты у самоходов.

На постоянство  $t_n$  перегрева большое влияние оказывает количество пара  $D$ , снимаемое с квадратного метра поверхности и нагрева котла.

Это количество в транспортной машине чрезвычайно переменнo и зависит от работы конуса; при езде по изломанному профилю эта переменность тем резче, чем изломаннее профиль.

Это обстоятельство весьма отличает работу перегревателей паровых котлов, обслуживающих транспортную машину, от работы перегревателей, обслуживающих стационарную установку, где нагрузка более или менее постоянна или, во всяком случае, более или менее определена.

Поэтому принципиально для перегревателей паровых самоходов, как и для паровозов, все расчетные формулы типа:

$$H_n = \frac{Q}{K_n \cdot (t_r - t_n)}, \quad (40)$$

где:

$Q$  — количество теплоты, принимаемой перегревателем в час

$t_r$  — средняя температура рабочих газов,

$t_n$  — средняя температура перегретого пара,

$K_n$  — коэффициент теплопередачи в перегревателе, вообще говоря, мало приемлемы.

Все формулы такого типа не дают устойчивых решений поскольку для самохода  $Q$ ,  $t_r$  и  $t_n$  безусловно переменны.

Проф. *Формаковский* <sup>2)</sup> рекомендует для расчета  $H_n$  паровозов формулу, помещаемую ниже:

$$H_n = A \frac{\sqrt{r}}{\tau} \cdot \frac{H \cdot C_p \cdot (t_n - t_0)}{\lambda}, \quad (41)$$

Эта формула в применении по аналогии к котлам с перегревателями, обслуживающим самоходы, вероятно, могла бы быть использована для всех самоходов класса Overtype при следующих обозначениях:

$A \approx 0,60$  — для грузовых машин и тягачей,

$A \approx 0,45$  — для легковых машин,

$\tau$  — время перегрева пара в секундах при форсировке

котла  $\frac{D}{H} \approx 50 \text{ кг/м}^2 \text{ час},$

$t_n$  — температура перегретого пара,

$t_0$  — температура пара в момент отсечки впуска,

<sup>1)</sup> V. D. 1. 1911, стр. 413, 455, 460.

<sup>2)</sup> Перегретый пар в паровозах большой мощности. К, 1911.

$H$  — поверхность нагрева котла в  $\text{м}^2$ ,

$r$  — среднее расстояние частиц пара от поверхностей перегревателя, омываемых горячими газами, в мм.

Интенсивность перегрева может быть усиливается рядом мероприятий. Таковы, например:

а) *статический способ* приближения частиц пара к поверхностям, омываемым газами, путем уменьшения диаметра трубок пароперегревателей;

б) *динамический способ*, при котором заставляют пар двигаться турбулентно, располагая на его пути винтовые направляющие, раскататели различных систем и пластинки, способные вызвать завихривание;

в) *комбинированный способ*, при котором объединяются одновременно способы статический и динамический.

Скорость  $v$  м/сек движения пара по элементам перегревателя и время  $\tau$  сек перегрева могут быть подсчитаны легко.

При сечении  $F$  пароперегревателя и длине  $S$  пути пара в его элементе, называя через:

$O_n$  — объем пара, проходящего в одну сек через сечение перегревателя, в  $\text{м}^3$ ,

$S$  — путь пара в перегревателе в м,  
легко определить, что:

$$v = \frac{O_n}{F} \text{ м/сек,}$$

$$\tau = \frac{S}{v} \text{ сек.}$$

нормы, удобные для проектирования, лежат в пределах:

$$v = 20 \div 60 \text{ м/сек,}$$

$$\tau = 0,2 \div 0,6 \text{ сек.}$$

Разумеется, что определять размеры перегревателя можно и прямым путем; но при этом, повторяем, перегреватель может оказаться удачным для строго определенного режима.

Такой расчет может быть сделан по формулам, которые могут быть разысканы в соответствующей литературе.

Пригодной для расчета будет формула, напр., такого типа:

$$H_n \cdot K_n = \left( \frac{T_1^0 + T_2^0}{2} - \frac{t_{\text{пер. пар}}^0 + t_{\text{нас. пар}}^0}{2} \right) = D \cdot C_p (t_{\text{нп}}^0 - t_{\text{ип}}^0). \quad (42)$$

Пример. Определить размеры пароперегревателя котла парового трактора класса Undertype, принимая:

$$p = 56 \text{ ата; } t_{\text{нп}} = 400^\circ \text{ Ц,}$$

$$\text{паросъем } D = 145 \text{ кг/час,}$$

$$\text{форсировку } \frac{D}{H} = 35 \text{ кг/м}^2 \text{ час,}$$

$$\text{отопление мазутом;}$$

температура перед перегревателем  $T_1 = 1450^\circ \text{Ц}$ ,  
 температура за перегревателем  $T_2 \approx 1250^\circ \text{Ц}$ ,  
 котел — прямоточный  $H = 5 \text{ м}^2$ .

Решение. Пусть перегреватель выполнен в виде змеевика и уложен в первом дымоходе.

Принимаем:

температуру насыщенного пара

$$\begin{aligned} t_{\text{нп}} &= 269^\circ \text{Ц} \\ C_p &\approx 0,58 \\ K_{\text{п}} &= 25 \text{ кал/м}^2 \text{ час.} \end{aligned}$$

Сделав подстановки в приведенную формулу, получим:

$$H_{\text{п}} \cdot 25 \cdot \left( \frac{1450 + 1250}{2} - \frac{400 + 269}{2} \right) = 145 \cdot 0,58 (400 - 269).$$

Отсюда:

$$H_{\text{п}} \cdot 25375 = 11017.$$

Следовательно:

$$H_{\text{п}} = \frac{11017}{25375} = 0,43 \text{ м}^2.$$

Принимая окончательно  $H_{\text{п}} = 0,5 \text{ м}^2$ , имеем соотношение:

$$\frac{H_{\text{п}}}{H} = \frac{0,5}{5} = 0,10.$$

Примем трубки змеевика следующих размеров:

$$\begin{array}{ll} \text{наружный диаметр } d_1 &= 38 \text{ мм,} \\ \text{внутренний } d_0 &= 30 \text{ мм,} \\ \text{толщина стенки } \delta &= 4 \text{ мм.} \end{array}$$

Такая трубка, с точки зрения прочности для трубок из литой углеродистой стали, будет благополучна, ибо для наших условий достаточно иметь толщину стенок трубки равной:

$$\delta = \sqrt{\frac{p \cdot d_1}{2 A \cdot Q}},$$

где:  $A = 0,0004$  — коэффициент литой стали,  
 $Q = 200000$  — тепловая нагрузка трубки.

Действительно:

$$\delta = \sqrt{\frac{56 \cdot 38}{2 \cdot 0,0004 \cdot 200000}} \approx 3,7 \text{ мм} < 4 \text{ мм.}$$

Потребная длина трубок перегревателя, очевидно, будет:

$$S_{\text{п}} = \frac{H_{\text{п}}}{\pi d_1} = \frac{0,5}{3,14 \cdot 0,038} \approx \frac{0,5}{0,119} = 4,2 \text{ м.}$$

*Примечание.* Так как котел имеет  $H=5$  м<sup>2</sup>, то, беря такую же трубку для него, получим необходимую длину трубки котла  $S_k=42$  м. Весь элемент — котел и перегреватель, очевидно, получают длину  $S=$   
 $=S_k+S_n=42+4,2=46,2$  м.

Полная форсировка котла составит:

$$\frac{D}{H} = \frac{145}{42} \approx 34,5 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Вес всего элемента — 155 кг.

## ПАРОВЫЕ МАШИНЫ

### Общие замечания и классификация

Паровые машины самоходов по номинальной мощности характеризуются величиной последней, держащейся в пределах

$$N=20 \div 150 \text{ л. с.}$$

Вотдельных, правда, случаях встречаются мощности  $N>150$  л. с; так, напр., тракторы „Кемна“, модель EZN, имеют паровые машины номинальной мощностью  $N=70 \div 330$  л. с. при  $n=350 \div 400$  об/мин.

Номинальной мощностью машин самохода, поскольку числа об/мин машин чаще всего непостоянны, мы называем мощность в действительных лошадиных силах на валу машины, которую последняя развивает на валу машины при перемещении самохода с полным рабочим грузом (или прицепом) при средней скорости на средней по качеству дороге.

Поскольку мы имеем дело с тяговыми машинами, их мощность приходится определять из соотношения

$$N = \frac{Z \cdot V}{270 \cdot \eta}, \quad (43)$$

где:

$Z$  — сила тяги в кг при имеющихся условиях движения на данной дороге,

$V$  — скорость движения самохода км/час;

$\eta$  — к. п. д. механизмов передачи, считая от поршня до ведущего колеса.

В моменты троганья с места, особенно на подъеме и на плохой (тяжелой) дороге, мощность  $N$  может возрастать на 100% и выше против нормальной; при движении же по хорошей дороге и под уклон, когда  $Z$  мало, соответственно падает и мощность  $N$ .

Иначе, для этих машин  $N$  переменна и представляет собою функцию, зависящую от  $Z$  и  $V$ , т. е.

$$N = f(Z, V).$$

Самоходы класса Overture имеют обычно горизонтальные паровые машины — одноцилиндровые (редко) и двухцилиндровые

(преимущественно), причем последние строятся по принципу одиночного расширения или компаунд (редко — тандем) и чаще всего имеют золотниковое парораспределение.

Ренерсирование чаще всего осуществляется кулиссой типа Стефенсона; реже имеет место применение нереверсивной паровой машины и коробки скоростей со скоростями переднего и заднего хода; при коробке скоростей чаще всего применяется в качестве конечной передачи цепная передача.

Машины самоходов этого класса обычно сильны и сравнительно тихоходны; они обычно строятся тяжелой конструкции, поскольку самоходы Overtype предназначаются, главным образом, для работ в тяжелых дорожных условиях.

Машины самоходов Undertype чаще всего выполняются как машины одиночного расширения с двумя и тремя цилиндрами (так называемые „двойни“ и „тройки“) простого и двойного действия; встречаются и 6-цилиндровые машины; реже машины выполняются с двойным расширением.

Эта группа машин имеет горизонтальное, вертикальное и V-образное расположение цилиндров с валом вдоль или поперек рамы самохода, располагаемые как над рамой, так равно и под ней.

В случае золотниковых парораспределений для изменения отсечек и реверсирования применяются кулисы Стефенсона, Джоя и Вальсхерта, либо передвижные эксцентрики; в случае клапанных парораспределений — скользящие кулачки; нередко — прямоточные машины Штумпфа.

Машины этой группы обычно быстроходны и имеют числа оборотов до  $n = 2000$  об/мин.

Если Overtype работает обычно без конденсации пара, то Undertype характеризуется работой по преимуществу с конденсацией.

Машины Undertype передают работу ведущей оси при помощи кардана либо при помощи зубчаток; встречается также применение коробки скоростей.

Таким образом паровые машины можно для классификации разделить на следующие типы:

- 1) насыщенного и перегретого пара,
- 2) низкого (до 22 ат) и высокого (до 100 ат) давления,
- 3) одиночного расширения и работающие по принципу компаунд,
- 4) простого и двойного действия,
- 5) одно-двух-трех- и многоцилиндровые,
- 6) вертикальные, горизонтальные, наклонные и V-образные,
- 7) быстроходные и тихоходные,
- 8) работающие на выхлоп и на конденсацию,
- 9) нереверсивные и реверсивные,
- 10) имеющие парораспределение: золотниковое, клапанное, крановое, Штумпфа, комбинированное,
- 11) расположенные на раме вдоль или поперек рамы и расположенные на паровом котле.

Частными особенностями машин являются такие:

- 1) применение дифференциала в коленчатом валу,
  - 2) применение выхлопного клапана для мгновенной отсечки при потребности в быстрой остановке,
  - 3) отсутствие регуляторов и маховиков у ряда типов и т. п.
- Рассматривая ниже конструкции паровых машин, мы отметим в нужных случаях и частные характеристики последних.

## МАШИНЫ САМОХОДОВ КЛАССА OVERTYPE

Машины этой группы строятся, главным образом, как горизонтальные двухцилиндровые компаунды и отличаются сравнительно тяжелой конструкцией и тихоходностью.

Располагаемые на спинке парового котла — симметрично или несимметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось последнего, машины всегда имеют оси цилиндров параллельные оси котла. Такое расположение приводит к поперечному расположению коленчатого вала, в силу чего передача от последнего к ведущим колесам может быть осуществлена без применения конических колес. Машины этой группы сходны по конструкции и различаются, главным образом, расположением органов парораспределения, которые находятся у одних машин над цилиндрами, у других — сбоку или между цилиндрами; парораспределения, главным образом, золотниковые; клапанные — очень редки и встречаются как исключение.

Применение одноцилиндровых машин и двухцилиндровых машин с расположением цилиндров по типу тандем не является типичным и, кажется, встречается только у самоходов завода „Кейс“ (Америка).

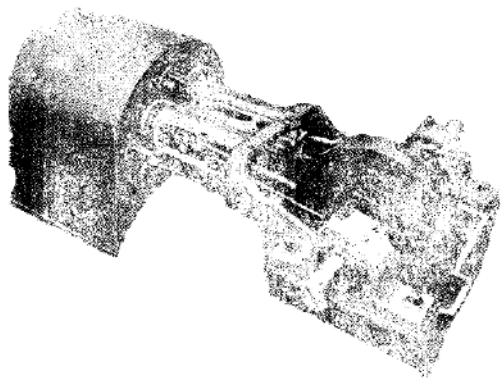
Ниже рассматриваем ряд конструкций машин этой группы.

**А. Машина самохода завода „R. Wolf“, Magdeburg—Buskau**

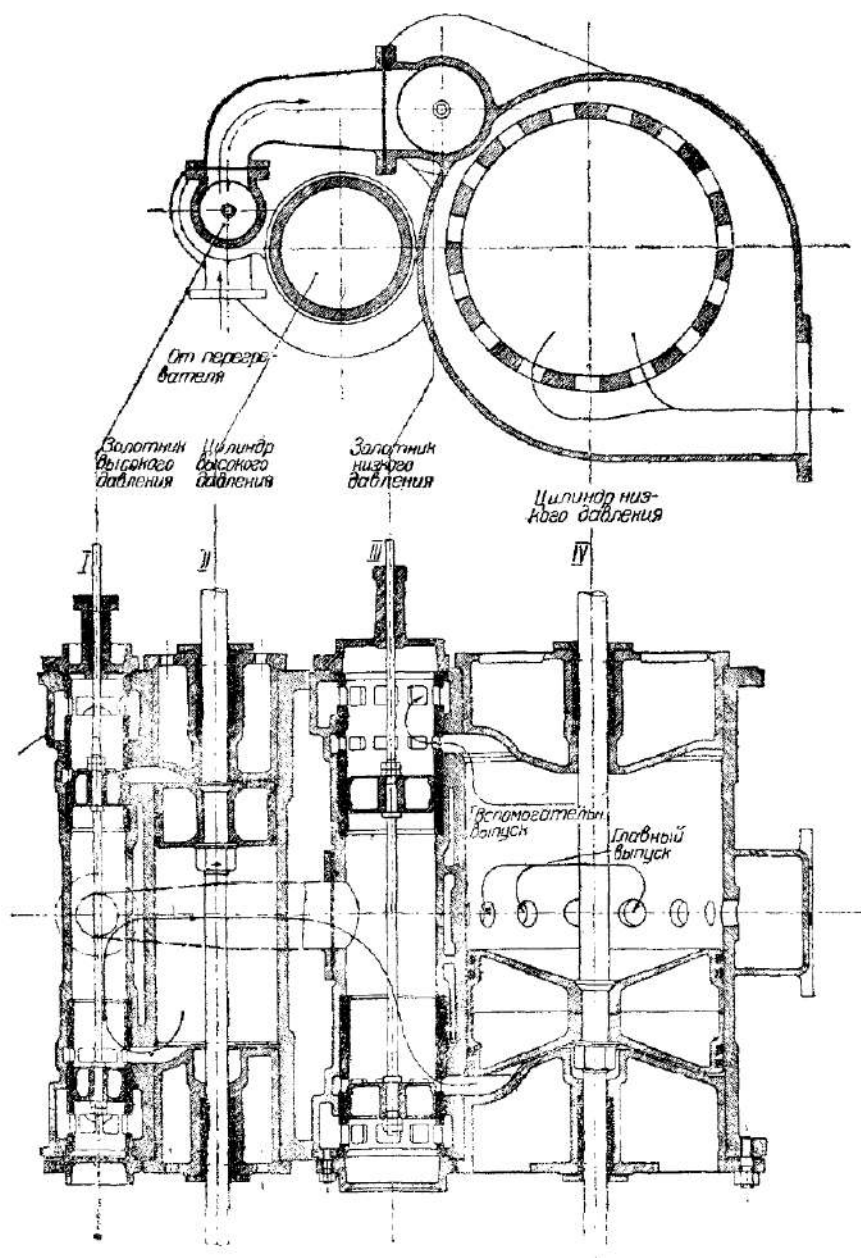
Представленная в общем виде на фотографии (фиг. 68) машина является типичной для передвижных локомотивов и самоходов класса Overtime.

Машина выполнена в виде двухцилиндрового компаунда с парораспределением поршневыми золотниками.

В тех случаях, когда она выполняется с парораспределением Штумпфа в цилиндре низкого давления (фиг. 69), для парорас-



Фиг. 68



Фиг. 69

пределения достаточно всего два золотника, из которых: один (I) управляется впуском пара в ц. в. д. (II); второй (III) — выпуском пара из ц. в. д. и впуском в ц. н. д. (IV).

Рама машины (фиг. 68) составлена из двух частей, из коих одна несет коленчатый вал, а вторая представляет собою направляющие для крейцкопфов.

Первая часть крепится к особому седлу, которое располагается на спинке котла.

Обе части рамы связываются между собою фланцевыми болтами в общую жесткую систему.

#### Б. Машина самохода „Fowler & C<sup>o</sup>“, Leeds

Эта машина, показанная в поперечном разрезе на фиг. 70, представляет собою также двухцилиндровый компаунд с парораспределением плоскими золотниками, расположенными наклонно внутри общей отливки цилиндров, которая выполнена в одном блоке.

В этой конструкции имеет место прекрасный обогрев машины паром во всех ее частях, поскольку паровая рубашка машины соединяется непосредственно с паровым пространством котла через открытое отверстие, видимое на фиг. 70, устроенное под цилиндрами.

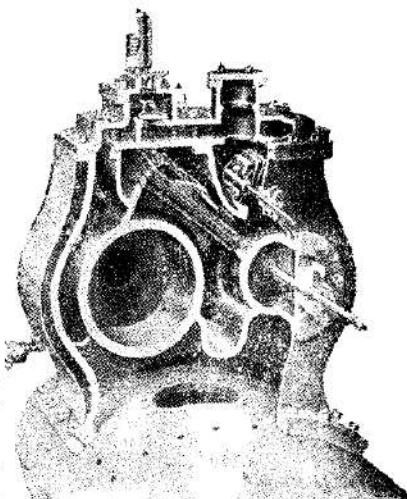
Отливка цилиндров выполнена в одном блоке и крепится непосредственно к спинке котла без каких бы то ни было промежуточных фундаментных устройств.

#### В. Машина самохода „Robey & C<sup>o</sup>“ L<sup>td</sup>, Lincoln

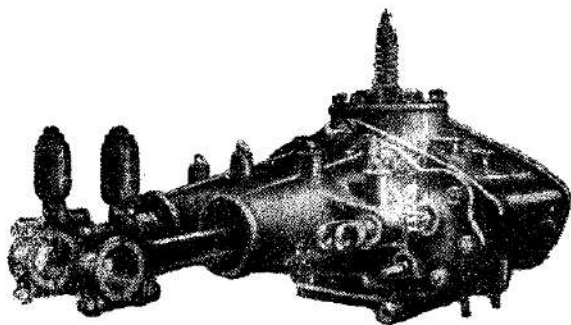
Общий вид этой машины представлен на фиг. 71.

Это также двухцилиндровый компаунд с цилиндрами, отличными в одном блоке, и с золотниковым парораспределением.

Сечение поперек цилиндров (фиг. 72) показывает отличные формы машины.



Фиг. 70

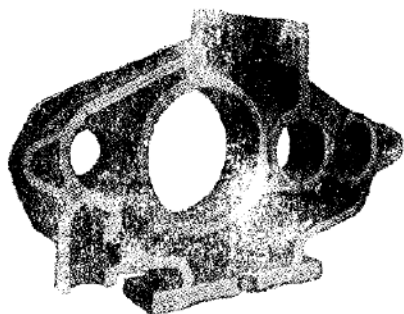


Фиг. 71

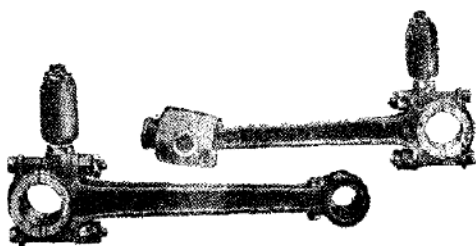
На фиг. 73 даем шатуны этой машины с крейцкопфами поршневого типа, а на фиг. 74— коленчатый вал в собранном виде с кулисным приводом Стефенсона.

### Г. Тандем-машины

На фиг. 75 представлен продольный разрез одной из машин типа тандем— двойного расширения— для локомотивов и самоходов (завод „Henschel & Sohn“, Kassel).



Фиг. 72

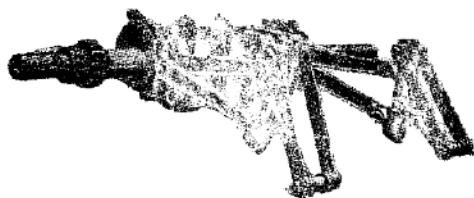


Фиг. 73

Машина имеет золотниковое парораспределение (поршневые золотники).

Путь пара показан стрелками.

Другой вариант машины тандем с комбинированным парораспределением (золотниковым—в ц. в. д. и Штумпфа—в ц. н. д.) представлен на фиг. 76, где дана машина самохода Вольфа в продольном разрезе.



Фиг. 74

Здесь имеем те же простые формы и такие же простые пути пара, как и у машины „Henschel & Sohn“.

### Д. Одноцилиндровые машины

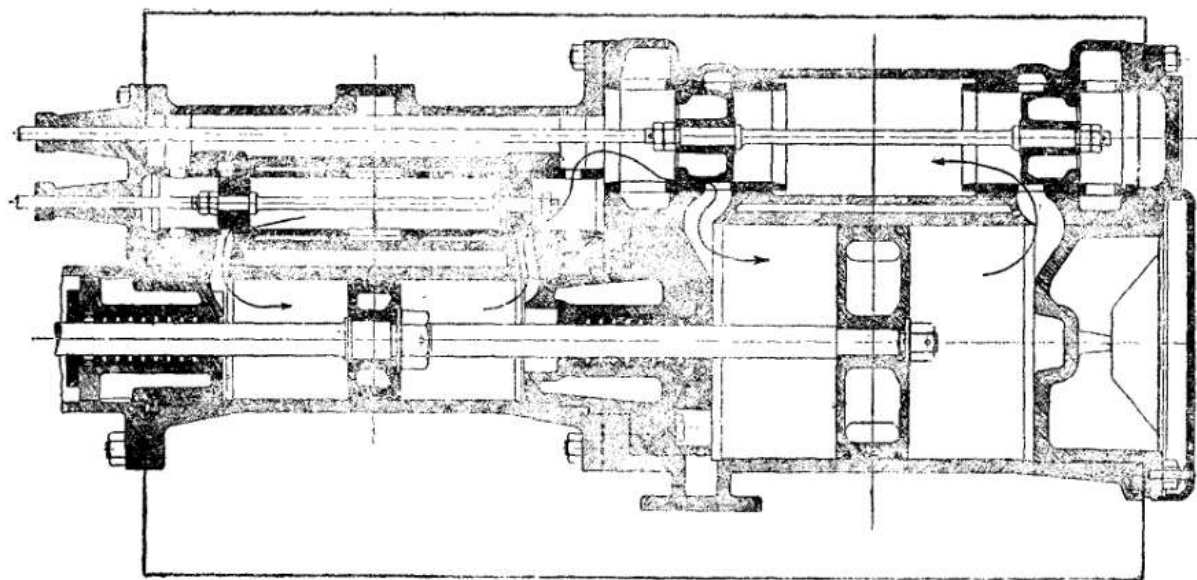
Образец одноцилиндровой машины (американ. самохода Case) представлен на фиг. 77 и 78, где даны: общий вид машины трактора с приводом реверса (фиг. 77) и продольный разрез парового цилиндра с плоским коромысчатим золотником.

### Е. Элементы машин

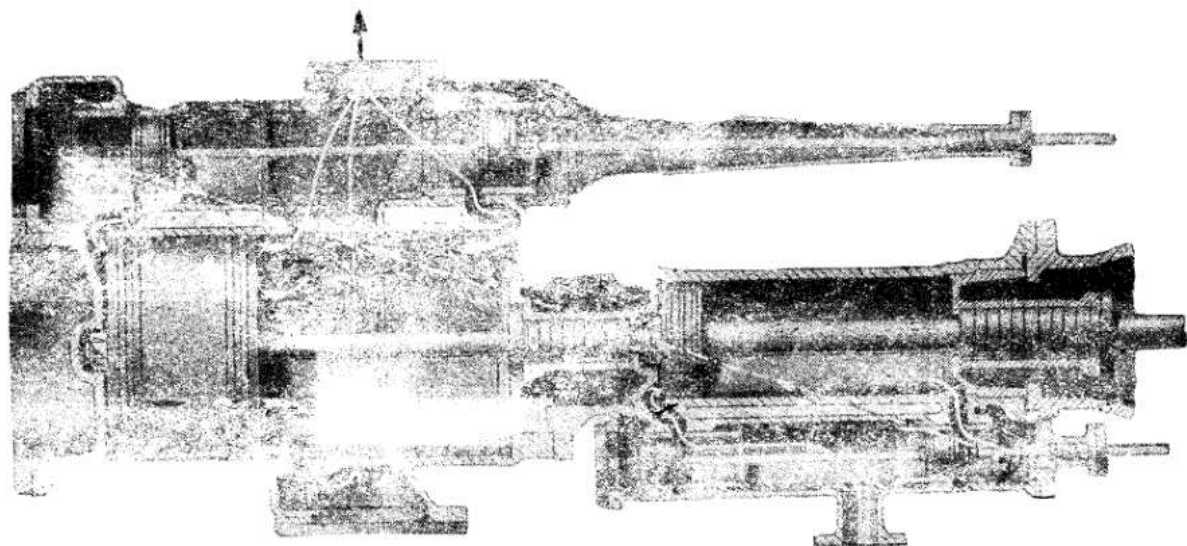
Рассмотренные паровые машины самоходов класса Overtypе чрезвычайно похожи, а часто и совершенно одинаковы с машинами локомотивов<sup>1)</sup>; в частности— самоходных локомотивов.

<sup>1)</sup> Наумов, Локомотивы, М. 1929, Комлев И. А., Локомотивы, М. 1931.

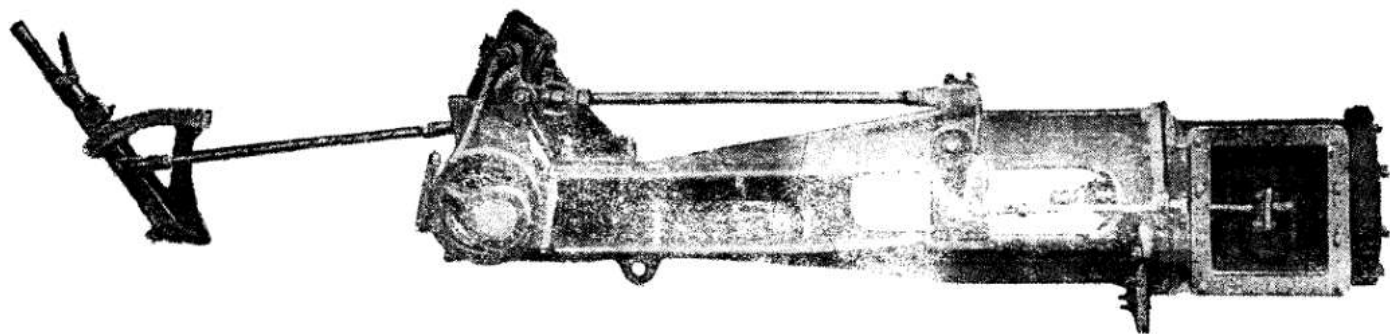
Добровольский В. А., проф. Промыслові локомотиви, Одеса, 1930, и др.



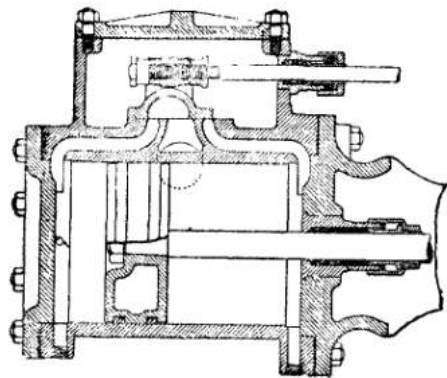
Фиг. 75



Фиг. 76



Фиг. 77



Фиг. 78

В силу этого мы и позволили себе ограничиться в отношении этих машин самым кратким обзором.

Ниже приводим данные об элементах этих машин и основных для них соотношениях.

1. *Отношение хода  $l$  поршня к диаметру  $d$  цилиндра у этих машин держится в пределах*

$$\frac{l}{d} = 0,8 \div 2,2,$$

причем дифференцируется по средним значениям следующим образом.

$\alpha$  — для *одноцилиндровых* машин

$$\frac{l}{d} = 1,20 \div 1,70.$$

$\beta$  — для *двухцилиндровых* машин двойного расширения, имеющих общий ход поршня  $l$  и диаметры цилиндров  $d$  — высокого и  $D$  — низкого давления;

в случае *параллельного* расположения цилиндров:

$$\frac{l}{d} = 1,7 \div 2,2, \quad \frac{l}{D} = 0,8 \div 1,2,$$

в случае *последовательного* расположения цилиндров (тип *тандем*):

$$\frac{l}{d} = 1,7 \div 2,2,$$

$$\frac{l}{D} = 1,0 \div 1,2.$$

Ход поршней выбирается с таким расчетом, чтобы средняя скорость поршня не выходила за пределы

$$c = 4,5 \div 5,0 \text{ м/сек.}$$

Кроме того, поскольку машины обычно располагаются на спинке котла, при выборе хода поршня (а вслед за ним и длины шатуна) необходимо выбрать ход таким образом, чтобы машина не оказалась очень длинной и хорошо вместились бы на котле.

2. *Отношение диаметров  $d$  и  $D$  цилиндров высокого и низкого давления обычно держится в пределах:*

$$\frac{D}{d} = 1,7 \div 2,2.$$

3. *Отношение длины  $L$  шатуна к радиусу  $r$  кривошипа составляет:*

$$\frac{L}{r} = 4,5 \div 6,$$

причем более благоприятным является большее соотношение, так как при этом получается меньшее давление на крейцкопф и имеет место меньший изгибающий момент на спинке котла.

4. Число оборотов вала машины доводится до значений

$$n = 150 \div 400 \text{ об/мин.},$$

причем большее число оборотов практикуется при машинах меньших размеров.

Ряд фирм, строящих самоходы Overtype с машинами двойного расширения (Foden и друг.), строят машины таким образом, что в тяжелых случаях машина может работать обоими цилиндрами, как цилиндрами простого расширения.

Это применяется при трогании с места и на очень трудных подъемах.

В машинах такого устройства острый пар автоматически или неавтоматически впускается непосредственно в оба цилиндра, причем мощность машины возрастает, примерно, на  $75 \div 85\%$ .

Ниже в табл. 14 помещаем некоторые сведения о машинах дорожных тракторов „I. Fowler“, пользующихся хорошей репутацией.

Таблица 14

Характеристика \ Модель	„Тигр“	„Геркулес“	„Аякс“	„Атлас“	„Малый лев“	„Большой лев“	„Сверхлев“
Тип машин . . . . .	Компаунд с параллельным расположением цилиндров						
Парораспределение	Золотниковое						
Мощность л. с. . . . .	29/33	36/40	41/45	48/53	53/59	67/76	70/80
Число цилиндров . . .	2	2	2	2	2	2	2
Диаметры $d$ и $D$ цилиндров, мм . .	108/190	121/203	146/254	152/267	162/279	171/292	178/305
Ход $l$ поршней, мм . .	229	229	254	305	305	305	305
Нормальное число оборотов вала; $n$ об/мин. . . . .	150	150	150	150	150	150	150

**Примечание.** Данные о параметрах пара и котлах этих самоходов сообщены выше в таблице 9.

## МАШИНЫ САМОХОДОВ КЛАССА UNDERTYPE

Машины этого типа представляют собою быстроходные 2 ÷ 8-цилиндровые „паровые моторы“ простого или двойного действия, выполняемые в виде вертикальных, наклонных, горизонтальных или V-образных систем, чаще всего одиночного — реже двойного расширения.

Машины этого типа в ряде конструкций весьма похожи на двигатели внутреннего сгорания автотракторного типа.

Как правило, машины располагаются отдельно от котла на раме самохода, хотя встречаются случаи, когда машина располагается очень близко к котлу в целях сократить длину паропровода.

Коленчатый вал машины располагается как вдоль, так и поперек рамы самохода, причем в случае продольного расположения вал нередко лежит так, что ось его находится вне плоскости, проходящей через главную продольную ось самохода, т. е. вал лежит близко к одному из лонжеронов рамы самохода.

Машины имеют как золотниковое, так и клапанное парораспределение и реверсируются, а равно управляются: кулисами Стефенсона, Джоя, Вальсхерта и др. (при золотниках), скользящими кулачками и клиновыми устройствами (при клапанах и т. п.).

В этой группе машины по преимуществу быстроходны, причем число об/мин. вала, обычно доходящее до  $n = 800$  об/мин., у некоторых образцов доходит до  $n = 1200$  об/мин. и даже до  $n = 2000$  об/мин., как это имеет место, например, у машины американского автобуса фирмы „Bruck Steam Motors“. Впрочем, в этой группе можно указать и тихоходные машины; такова, например, двухцилиндровая „двойня“ сельскохозяйственного трактора „Bryan Harvester Co“, у которой  $n = 220$  об/мин.

Ниже рассмотрено несколько конструкций машин этой группы.

### А. Паровая машина „Clayton“

Рассматриваемая машина представлена в разрезе на фиг. 79.

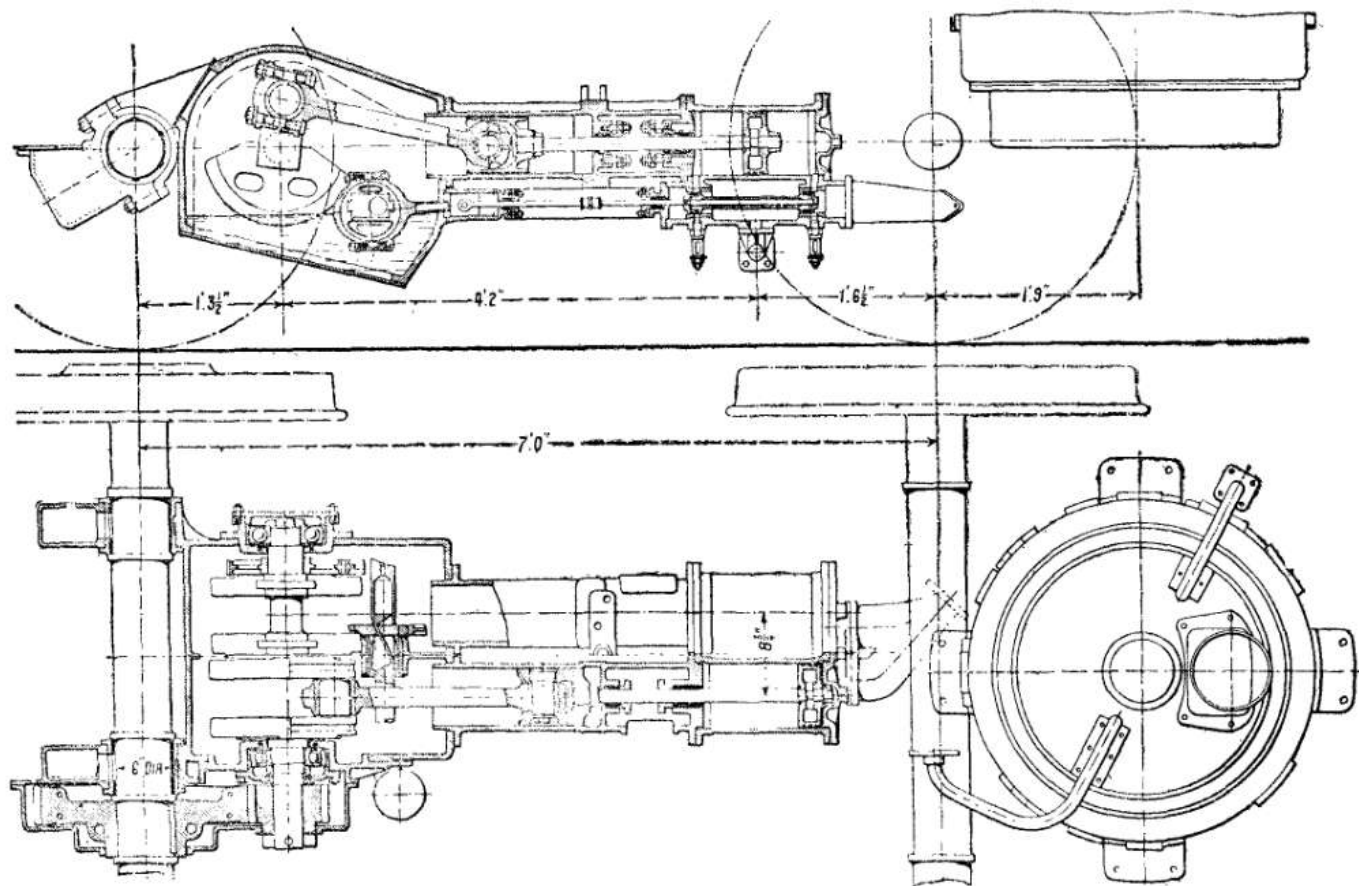
Эта машина устанавливается фирмой „Clayton“ в качестве двигателя как на рамах безрельсовых самоходов, так равно и на рамах жел. дор. автотрасс.

Она имеет следующую<sup>1)</sup> характеристику:

число цилиндров . . . . 2  
диаметры . . . .  $d = 173$  мм ( $6\frac{3}{4}$ " ),  
ход поршней . . . .  $l = 257$  мм (10")  
число оборотов вала . .  $n = 150 - 450$  об/мин.

Машина представляет собою „двойню“ с цилиндрами, работающими по принципу одиночного расширения; изменение от-

<sup>1)</sup> The Railway Engineer, Oct. 1927.



Фиг. 79

сечек и реверсация выполняются посредством изменения величины эксцентриситета эксцентрика, что достигается при помощи особых клиньев, скользящих в продольных пазах распределительного валика; перестановка клиньев выполняется из кабины водителя простой перестановкой рычага привода.

Парораспределение — золотниковое при помощи поршневых золотников, расположенных ниже цилиндров.

Коленчатый вал с коленами, расположенными под углом в  $90^\circ$ , вращается вместе с эксцентриками, работающими на валу в картере, заполненном смазкой.

Крейцкопфы поршневого типа работают в закрытых цилиндрических направляющих.

Коленчатый вал снабжен противовесами и работает на опорах с шарикоподшипниками.

Машина имеет:

отношение длины  $L$  шатуна к радиусу  $r$  кривошипа

$$\frac{L}{R} \approx 4;$$

отношение хода  $l$  поршня к диаметру цилиндра

$$\frac{l}{d} = 1,485.$$

Длина машины, считая от оси коленчатого вала до середины цилиндров, составляет 1270 мм.

Ширина машины, считая между осями цилиндров (расстояние между цилиндрами) составляет 222 мм.

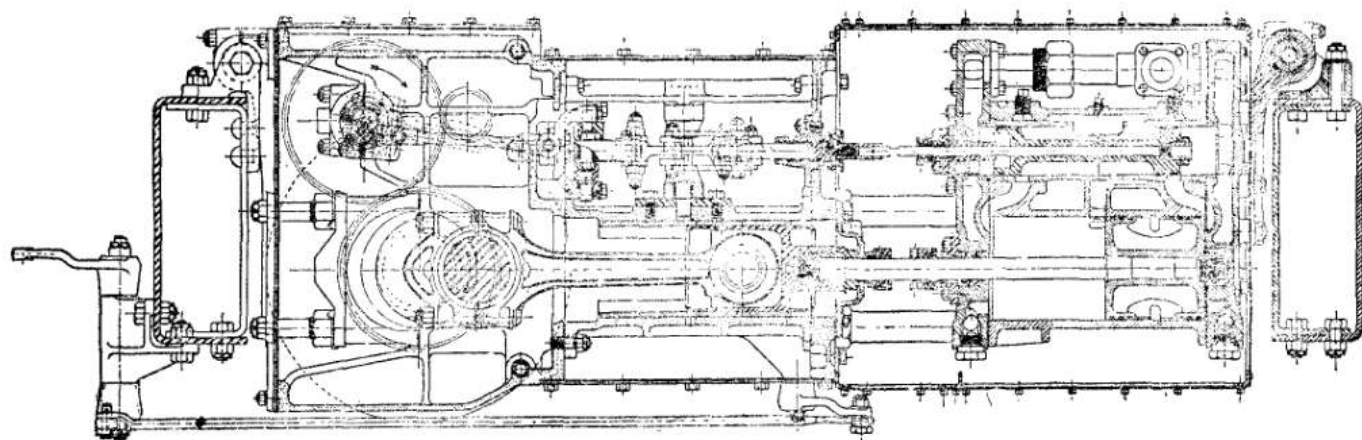
Машина, представленная на фиг. 79, предназначена для автотоматриссы и 6-тонного грузовика и имеет номинальную мощность, составляющую  $N \approx 36$  л. с.

### Б. Машина фирмы „Delling Motors C“

Эта машина, представленная на фиг. 80, предназначена для автобуса той же фирмы. На фиг. 80 дан разрез машины осевой вертикальной плоскостью.

Машина состоит из трех цилиндров одиночного расширения („тройная“), действующих на коленчатый вал с коленами, заклиненными под углами в  $120^\circ$ , и работает с парораспределением Штумпфа.

Впуск пара производится поршневыми золотниками, управляемыми кулиссой Вальдсхерга, которая обслуживает и реверсацию.



Фиг. 80

Машина имеет:

диаметры цилиндров . . . . .  $d = 108$  мм ( $4\frac{1}{4}$ " ),

ход поршней . . . . .  $l = 120,7$  мм ( $4\frac{3}{4}$ " )

отношение хода поршня к

диаметру цилиндра . . . . .  $\frac{l}{d} = 1,117,$

отношение длины  $L$  шатуна

к радиусу кривошипа . . . . .  $\frac{L}{r} = 4,5$

При скорости автобуса  $V = 32$  км/час машина работает с числом оборотов вала  $n = 255$  об/мин.

Машина расположена поперек рамы (фиг. 81), и, таким образом, коленчатый вал находится вблизи одного из лонжеронов рамы, что упрощает передачу от него к ведущим колесам.

Крепление машины к раме видно по фиг. 80; оно сделано на специальных лапах, с которых машина легко может быть снята при первой же потребности в этом.

## В. Машины „Sentinel“

Фирма „Sentinel“ строит для своих самоходов и автотрисс несколько типов машин, часть коих мы и рассмотрим ниже.

а) На фиг. 82 приведена паровая машина этой фирмы, представляющая собою двухцилиндровую машину одиночного расширения с цилиндрами, имеющими диаметр  $d = 152,5$  мм (6") и ход поршней  $l = 203$  мм (8").

Машина при ходе грузовика со скоростями  $V = 10 \div 20$  км/час работает соответственно с числом оборотов вала  $n = 390 \div 595$  об/мин.

Машина имеет следующие особенности.

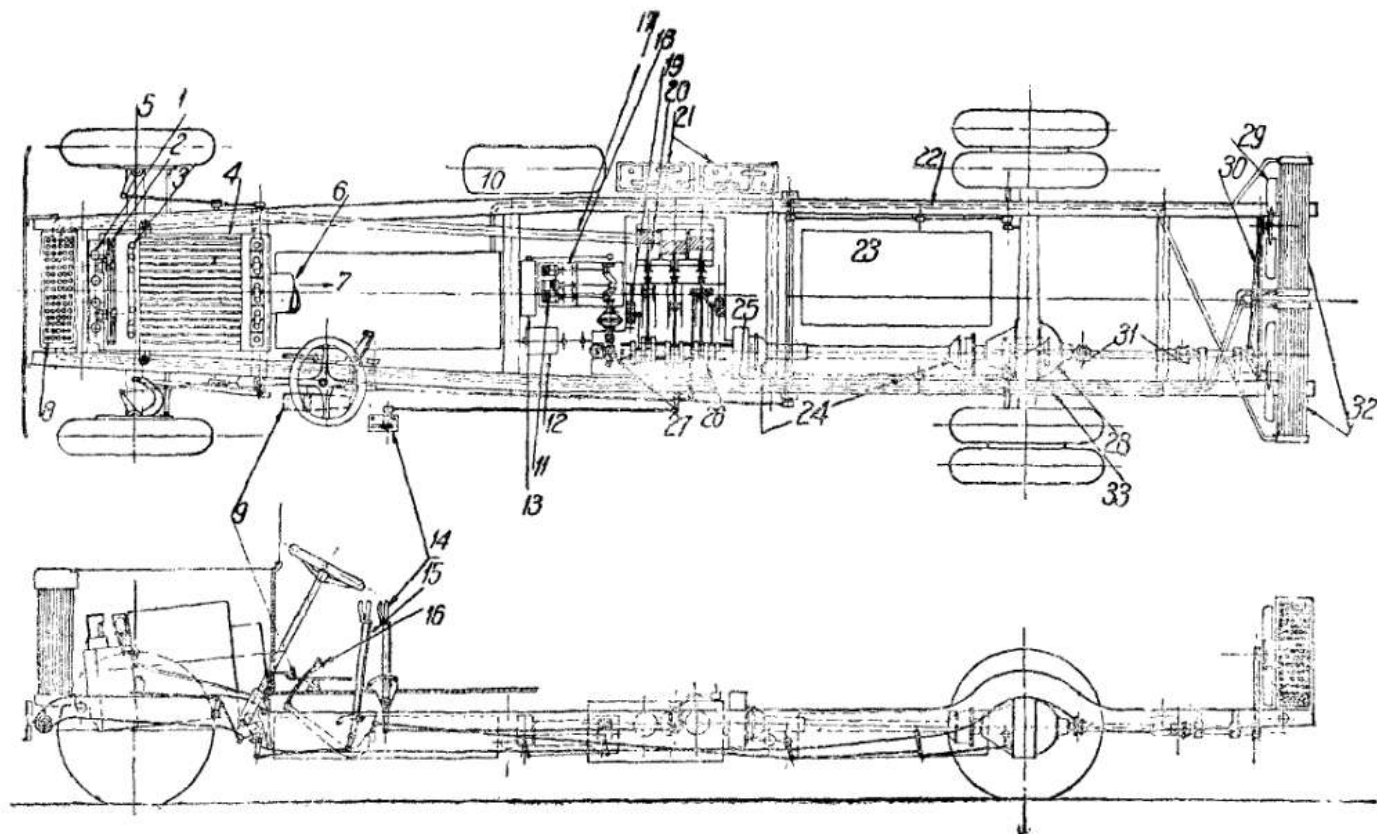
1. Впускной и выпускной клапаны приводятся в действие кулачками двух распределительных валиков, из которых один управляет впускными, а другой — выпускными клапанами.

2. Наполнение регулируется впускными клапанами, причем профиль впускного кулачка может быть изменен вручную при помощи простого привода из кабины водителя.

3. Выхлопные клапаны, помимо своей прямой задачи, служат для выполнения мгновенной отсечки пара в случае потребности во внезапной остановке или при маневрировании. Управление достигается при помощи механизма, приводимого в движение ножной педалью.

4. Машина имеет коленчатый вал в масляном картере с коленами, заклиненными под углом в  $90^\circ$ ; вал уравновешен.

5. Крейцкопфы — „колокольного“ типа — пустотелые, работают в цилиндрических закрытых направляющих.

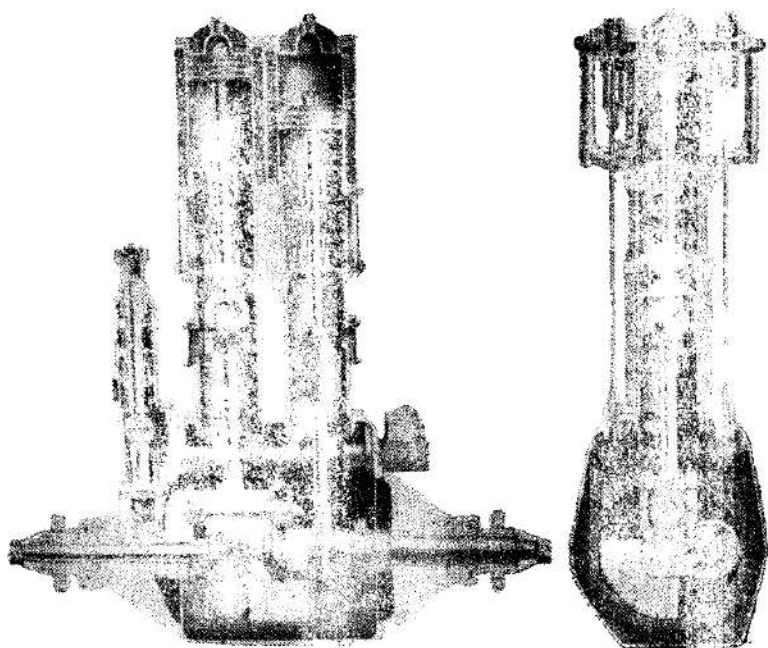


Фиг. 81

1—подогреватель, 2—испаритель, 3—перегреватель, 4—котел, 5—подогреватель воды, 6—дымовая труба, 7—водяной бак, 8—передний конденсатор, 9—педаль дросселя, 10—добавочный топливный бак, 11—водяной насос питательной воды, 12—генератор, 13—лубликатор, 14—реверс, 15—тормоз, 16—тормоз, 17—выхлоп пара, 18—топливный насос, 19—противовес, 20—паровая машина, 21—батарея (аккумулятор), 22—труба возврат. в бак, 23—топливный бак, 24—универсальный шарнир, 25—маховик, 26—коленчатый вал, 27—червячная передача, 28—дифференциальная коробка, 29—вентилятор, 30—ремен. привод, 31—универсальные шарниры, 32—труба от переднего конденсатора к зданию.

Особенностью машины является ее дифференциал, устроенный в *коренном* коленчатом валу. Это устройство осуществлено следующим образом.

В коленчатом валу — в цилиндрической его части и в пальцах — высверлены осевые каналы, в которые вставлены валики; последние при помощи зубчаток (цилиндрических), заклиненных наглухо на концах валиков, находятся между собою в постоянном сцеплении. При вращении вала центральные валики находятся, естественно, в покое и заставляют своими зубчатками равномерно вращаться боковые валики. Последние вращаясь передают от коленчатого вала усилия на ведущие колеса, что осуществляется цепями от звездочек, сидящих на концах боковых валиков.



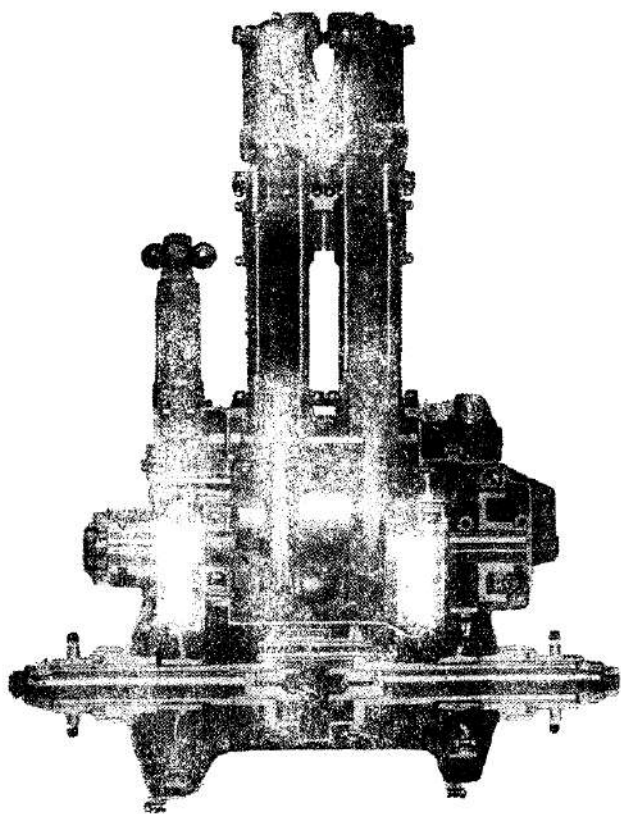
Фиг. 82

При езде самохода по кривой или при поворотах, когда одно из ведущих колес замедляет свое вращение, соответствующий этому колесу боковой валик дифференциала затормаживается и нарушает покой центральных валиков; последние, вследствие этого, начинают вращаться и, таким образом, увеличивают скорость вращения другого ведущего колеса.

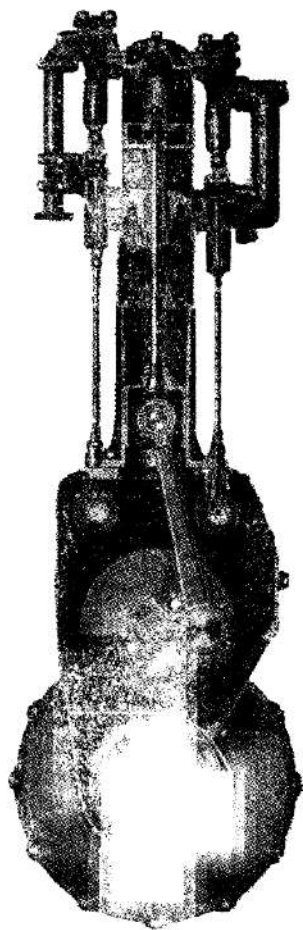
Это чрезвычайно остроумное и компактное решение, так же как и других систем дифференциала, облегчает проход кривых

и поворот самоходом и устраняет „волочение“ колеса, неизбежное у машин без дифференциала.

β) На фиг. 83 и 84 представлена новейшая машина Sentinel. Ясность рисунка позволяет, после описания предыдущей маши-



Фиг. 83



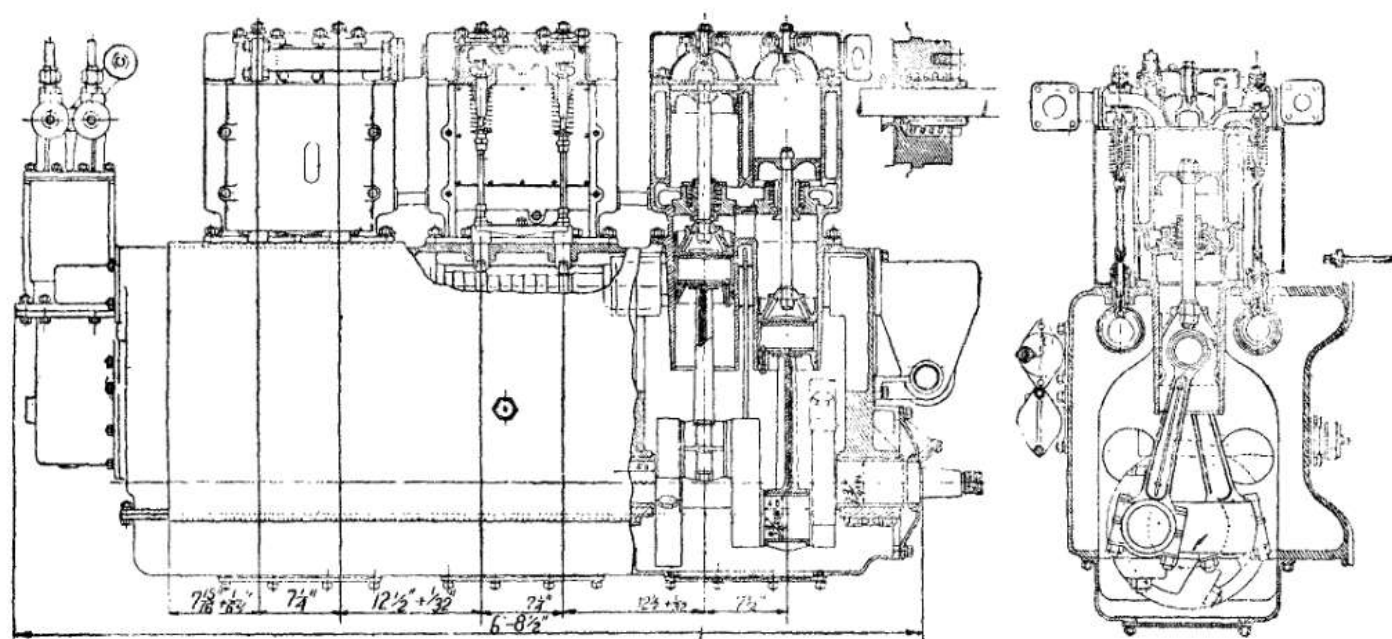
Фиг. 84

ны, не делать добавочных описаний и ограничиться указанием только на то, что эта машина также является клапанной двух-цилиндровой простого расширения.

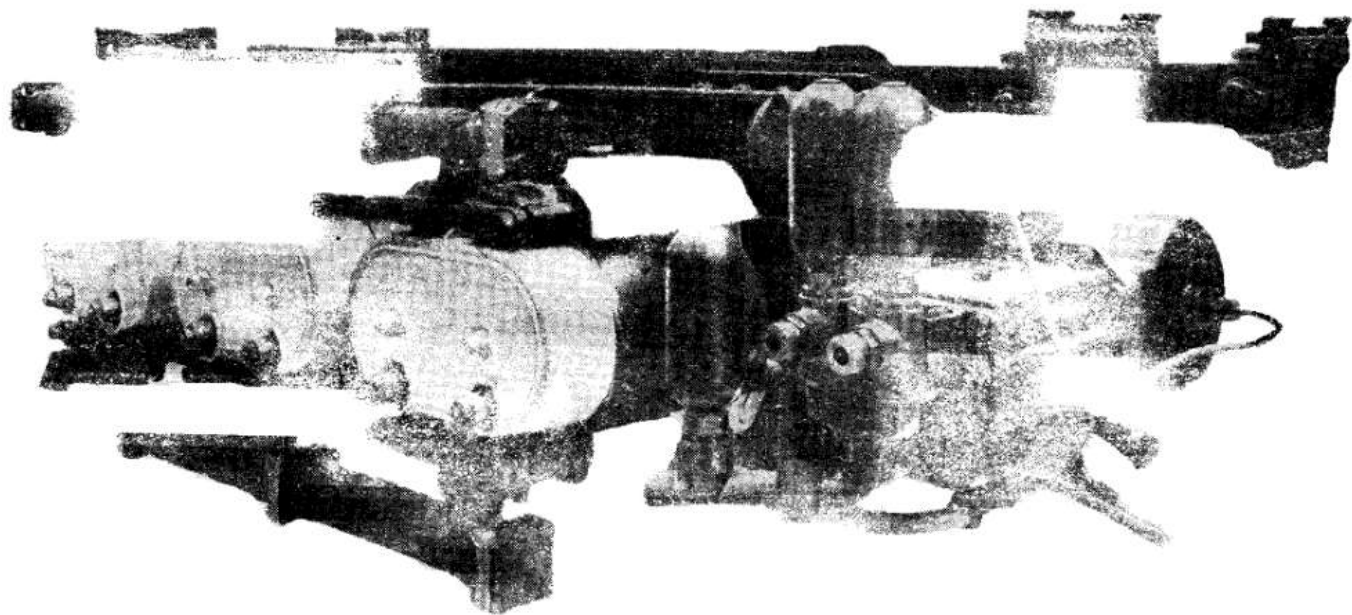
γ) Совсем особым типом является машина<sup>1)</sup>, представленная в разрезе на фиг. 85, а на фиг. 86 показанная в подвешенном к раме самохода состоянии.

Эта машина — 6-цилиндровая, одиночного расширения с

<sup>1)</sup> „Sentinel-Commell“ Gear Driven Rail Cars, март, 1931.



Фиг. 85



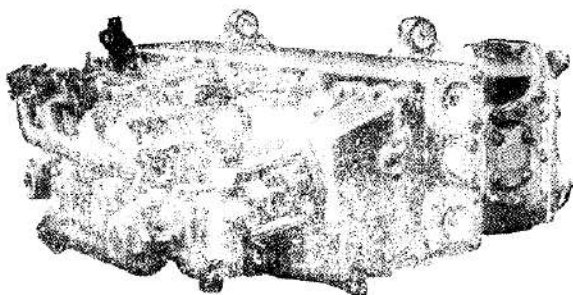
Фиг. 86

цилиндрами простого действия, рассчитана для работы перегретым паром  $p=22$  ата и допускает работу нормально при  $n=500$  об/мин. Диаметры цилиндров  $d=132,5$  мм (6"); ход поршней  $l=158$  мм (7").

Все цилиндры имеют паровые рубашки и клапанное парораспределение, работающее от распределительных кулачных валиков, из которых один управляет впуском, а другой — выпуском.

Цилиндры отлиты по два в блоке и приболочены к станине с картерной коробкой внизу, в которой находится коленчатый вал.

Колена последнего для каждой пары цилиндров расположены под углом  $180^\circ$ , причем



Фиг. А



Фиг. В

каждая пара колен, обслуживающих двухцилиндровый блок, расположена относительно соседней пары также под углом в  $180^\circ$ .

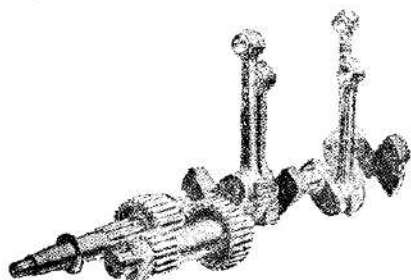
Смазка машины — центральная, под давлением.

Расстояние между цилиндрами каждого блока составляет 185,5 мм; вся длина машины около 2050 мм.

Машина прекрасно уравновешена и обеспечивает значительно меньшую вибрацию рамы самохода или автомотриссы, ею обслуживаемых.

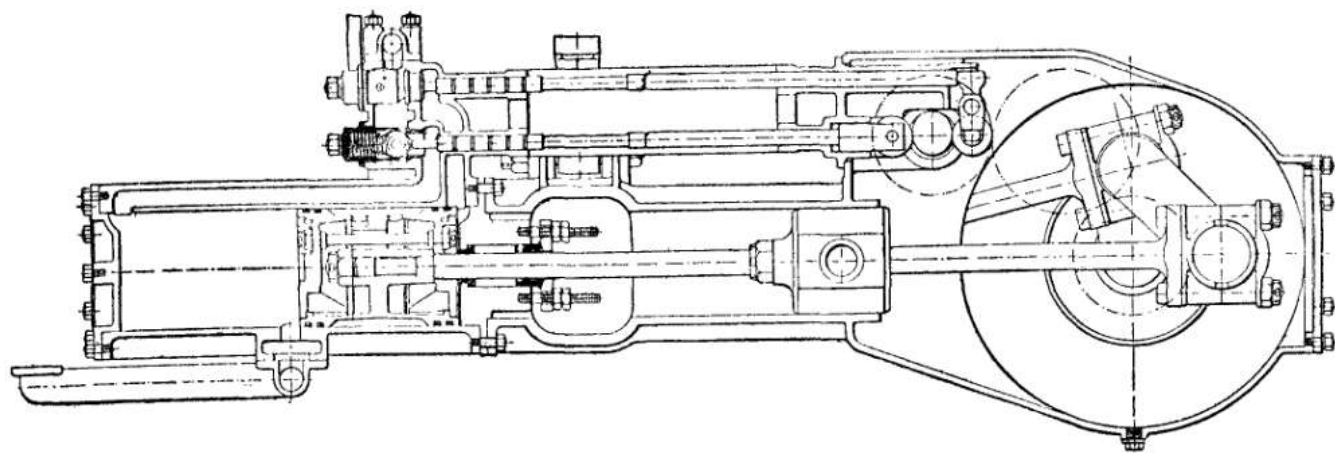
На фиг. 86 машина представлена вместе с смазочным насосом.

Номинальная мощность машины составляет 100 л. с.



Фиг. С

*Примечание.* К этому же типу принадлежит стандартная паровая 4-цилиндровая машина (фиг. А) простого действия одиночного расширения ( $d=5\frac{1}{2}$ " ;  $l=6$ " ), развивающая  $N=120$  л. с. при числе оборотов  $n=685 \div 1265$  об/мин. и предназначенная для 4 — 12-тонных грузовиков модели S. Машина работает паром  $p=17$  ат. На фиг. В, С представлены поршень и коленчатый вал машины с демультипликатором (передача  $2,72 \div 4,56$ ).



Фиг. 87

## Г. Машины „Atkinson“

Машины этой фирмы выполняются в виде двух- и трехцилиндровых, обычно одиночного расширения.

На фиг. 87 показана в продольном разрезе двухцилиндровая машина, а на фиг. 88 — она же, снаружи, прикрепленная к раме грузовика.

Эта машина имеет прямоточные цилиндры, по принципу Штумпфа, с диаметрами  $d=178$  мм (7") и ходом поршней  $l=255$  мм (10").

При скорости движения самохода, равной  $V=13$  км/час, машина делает  $n=200$  об/мин. и развивает мощность  $N=60$  л. с.



Фиг. 88

Конструкция всей машины, ее узлов и отдельных деталей отчетливо видна на чертеже (фиг. 87) и потому дополнительно к чертежу не описывается.

Приведенная на фиг. 87 и 88 машина горизонтальна. Однако фирма строит и трехцилиндровую вертикальную машину, которая при такой же мощности на один цилиндр, как у предыдущей машины, составляется из тех же деталей, что и предыдущая.

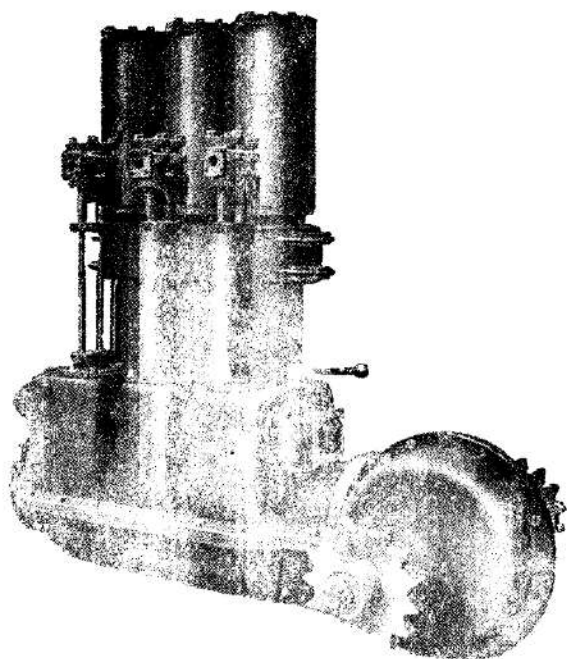
В этом виде (фиг. 89) машина выполняется для жел. дор. тягача, для которого она обеспечивает мощность  $N=90$  л. с.

Достоинства этих машин снижаются тем, что они работают на выхлоп, а не на конденсацию.

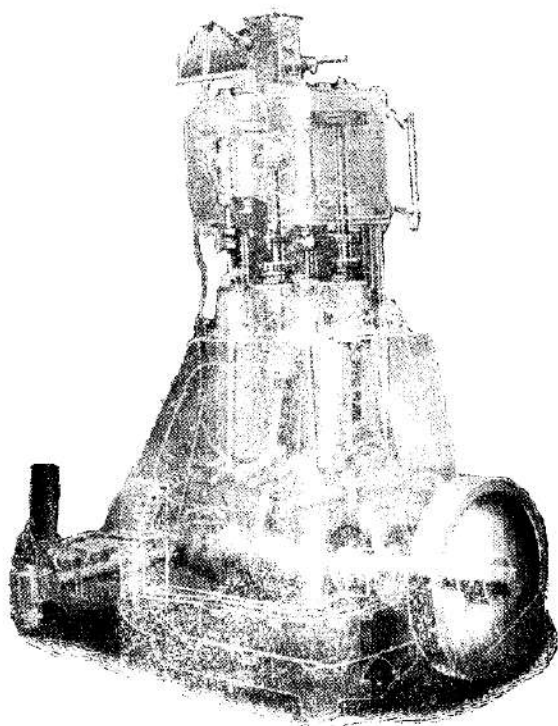
## Д. Машина „Iorkshire“

Эта машина (фиг. 90) представляет собою вертикальный, двухцилиндровый компаунд, развивающий  $N=60$  л. с. при  $n=450$  об/мин. и имеет: диаметры цилиндров  $d=114,5$  мм (4,5") и  $D=190,5$  мм (7,5") при ходе поршней  $l=203$  мм (8").

Конструкция дается без описания вследствие ясности рисунка. Машина обслуживает грузовики.



Фиг. 89

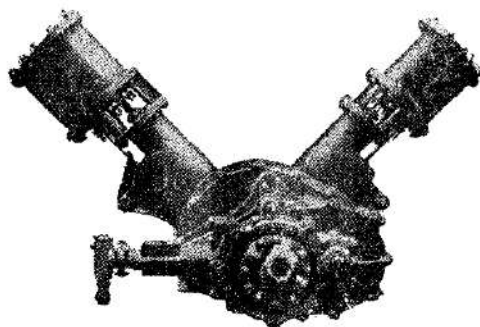


Фиг. 90

### Е. Машина „Fowler“

На фиг. 91 представлена машина самоходов класса Under-type фирмы „Fowler“.

Эта машина характеризуется V образным расположением цилиндров и представляет собою двухцилиндровый компаунд



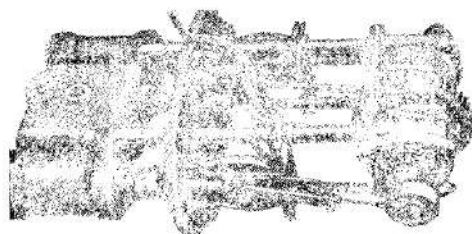
Фиг. 91

с цилиндрами, имеющими: диаметры  $d=122$  мм ( $4\frac{3}{4}$ " ) и  $D=190,5$  мм ( $7,5$ " ) при ходе поршней  $l=203$  мм ( $8$ " ).

### Ж. Машина „Bryan“

Представленная на фиг. 92 машина принадлежит сельскохозяйственному трактору „Bryan Harvester C“.

Машина представляет собою „двойню“ с цилиндрами  $d_1=d_2=101,5$  мм ( $4$ " ), имеющими ход поршней  $l=127$  мм ( $5$ " ).



Фиг. 92

Реверсируется кулиссой Стефенсона. При числе  $n=220$  об/мин. машина развивает  $N=20$  л. с.

### 3. Машины „Stanly“ и „Doble“

Представленная на фиг. 93 — вместе с задней осью легкового автомобиля — машина приводится для того, чтобы показать обычную для легковых автомобилей компоновку ведущей части.

Сама по себе машина является двухцилиндровым компаундом, расположенным горизонтально и работающую на ведущую ось через шестеренную передачу от коленчатого вала.

В этом же типе строятся и машины „Добль“, которые для легкового автомобиля характеризуются следующими размерами и данными:

система — горизонтальный компаунд,

число цилиндров — 4, из коих 2 — высокого и 2 — низкого давления,

диаметры цилиндров:  $d = 66,7$  мм и  $D = 114,3$  мм;

ход поршней  $l = 127$  мм.

При числе оборотов  $n = 820$  об/мин. машина развивает мощность  $N = 82$  л. с.

Машина имеет золотниковое парораспределение, причем число золотников — два.

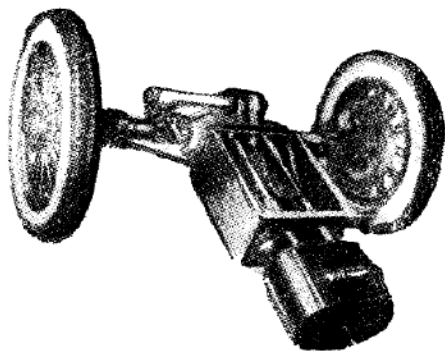
Золотники — поршневые.

Движение золотников и расположение паровых окон таково, что впуск и отсечка впуска, а также выпуск и отсечка выхлопа одинаковы во всех цилиндрах.

Золотники управляются кулиссой Стефенсона, которая обеспечивает реверсацию и три различных ступени отсечки  $85\% \div 65\% \div 45\%$  от хода поршня: первая служит для трогания с места и трудных подъемов; вторая — для городской езды, как обеспечивающая максимальное ускорение и хорошую экономичность; последняя — для всех прочих случаев езды, как обеспечивающая наилучшие скорости и экономичность.

Машина имеет алюминиевый картер, в котором помещен коленчатый вал и дифференциал.

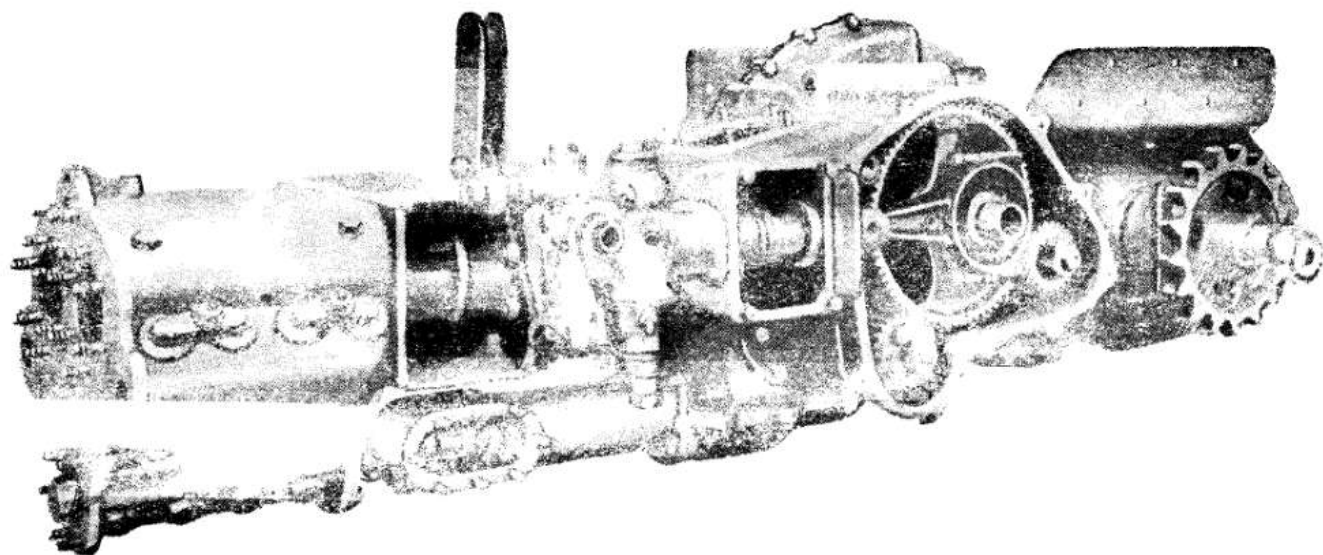
Мы считаем возможным ограничиться сказанным и позволяем себе только привести ниже фотографию и рисунки еще двух машин, что делаем только для того, чтобы подчеркнуть некоторые отдельные особенности этих машин.



Фиг. 93

### И. Машина „R. Garrett“

Представленная на фиг. 94 машина „R. Garrett“, принадлежащая английскому трактору „Suffolk Punch“, описанному ниже, работает при числе оборотов до  $n = 800$  в минуту и характеризуется „капсульной“ конструкцией. Машина полностью закрыта.



Фиг. 94

## К. Машина Людиновского завода

Представленная на фиг. 95 и 96 двухцилиндровая машина, принадлежащая гусеничному трактору *Людиновского завода*,



Фиг. 95

работающая с числом оборотов до  $n = 650$  в минуту с длительной мощностью до  $N = 78$  л. с., характеризуется *наклонным* расположением, при котором цилиндры машины опираются патрубками на верхний горизонтальный барабан парового котла.

Машина имеет: два цилиндра,  $d = 120$  мм,  $l = 170$  мм, парораспределение — клапанное; вес 948 кг.

## Л. Машина для грузовика (проект)

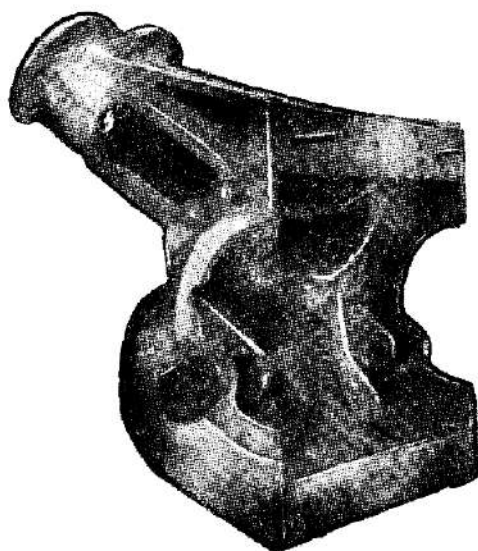
Наконец, позволяем себе привести схематические чертежи (фиг. 97, 98) паровой машины, разработанной для грузовика в порядке части дипломного проекта студентами Одесского индустриального института.

Согласно расчетов, сделанных авторами, машина, работая паром с параметрами  $p = 100$  ата и  $t = 425^\circ \text{Ц}$  при к. п. д.  $\eta = 0,95$ , должна дать при  $n = 1200$  об/мин. мощность  $N = 100$  л. с., достаточную для перемещения трехосного 8-тонного грузовика.

Как можно видеть по фиг. 97 и 98, машина предлагается как 6-цилиндровая, с цилиндрами одиночного расширения, простого действия.

Впуск пара намечено выполнить посредством „порционок“, близких к крановым распределениям; выпуск — по Штумпфу.

В силу этого поршни машины достаточно длинные и напоминают поршни двигателей внутреннего сгорания; нижние



Фиг. 96

два кольца служат как уплотняющие; кольцевой канал над этими кольцами служит для улавливания побегов пара при неплотности рабочих колец и отвода этих побегов в конденсатор через патрубок, устроенный в нижней части цилиндра.

Машина имеет:

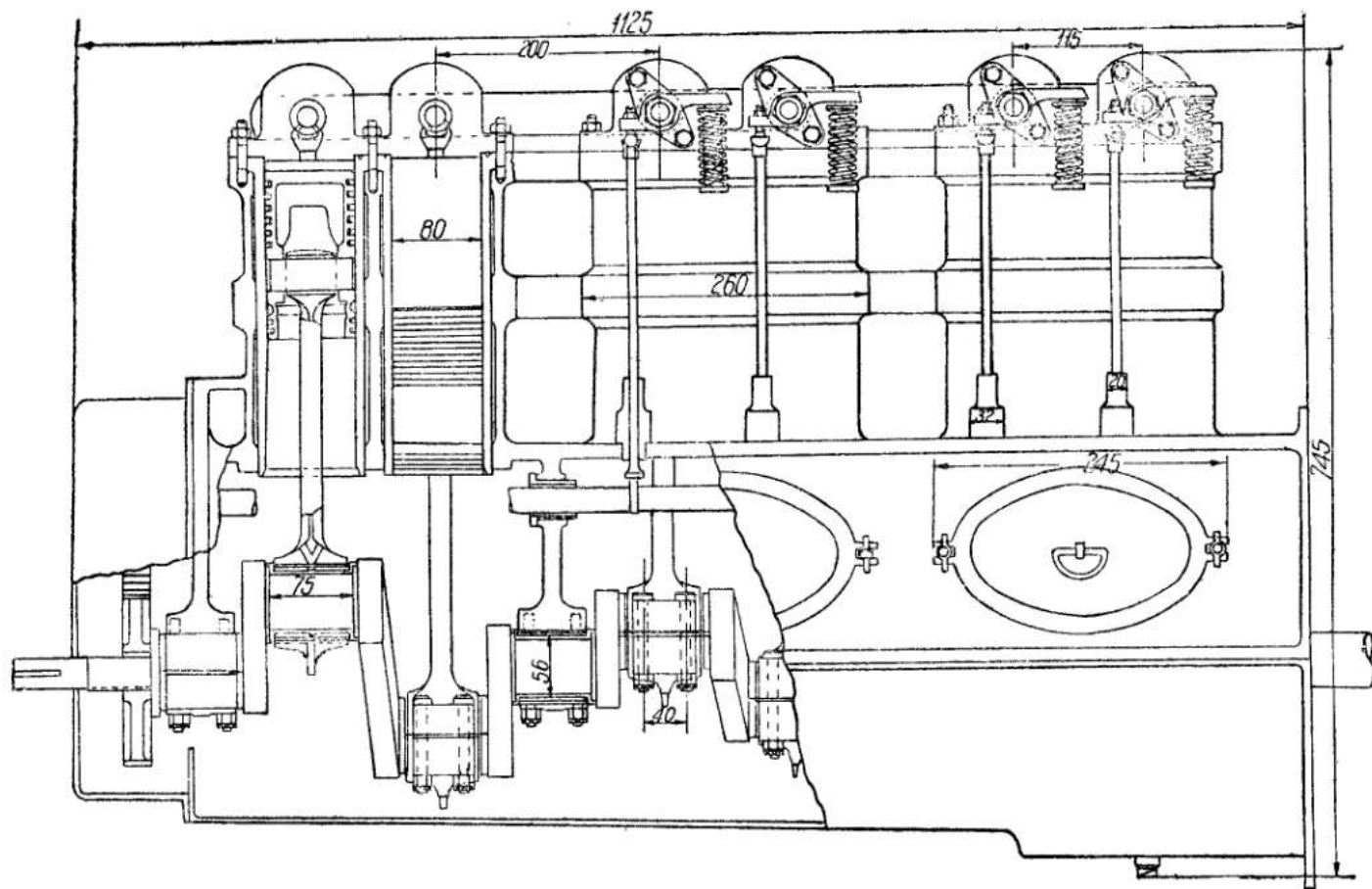
диаметры цилиндров  $d = 80$  мм,  
ход поршней  $l = 125$  мм.

Коленчатый вал машины работает на *игольчатых подшипниках*, разрезные конструкции которых весьма обстоятельно проверены у нас в СССР в лабораторных и полевых условиях<sup>1)</sup>.

Вся машина в эскизном проекте получила следующие габаритные размеры:

полная длина . . . . .	1125 мм
„ высота . . . . .	745 „
„ ширина . . . . .	480 „

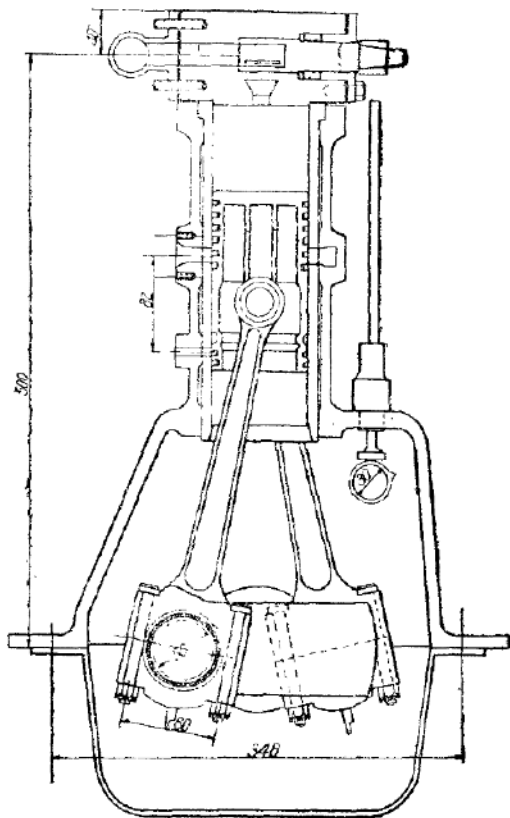
<sup>1)</sup> Проф. Добровольский В. А., инж. Д. М. и В. М. Поддерегины. Игольчатые подшипники. 169 стр., Одесса, 1935.



Машина спроектирована без крейцкопфов; имеет гильзы в цилиндрах и картер; имеет общие черты с двигателями внутреннего сгорания автотракторного типа.

#### М. Элементы машины

Сделанный выше краткий обзор конструкций паровых машин для самоходов класса Undertype нужно дополнить некото-



Фиг. 98

рыми данными, характеризующими элементы машин и их соотношения.

Этот материал нами собран в табл. 15, в которую добавлены и те скудные сведения о „паровых моторах“ автобусов, имеющих по 8 цилиндров, которые в литературе уже сообщены<sup>1)</sup>.

К сожалению, чертежей или фотографий 8-цилиндровых машин нам достать не удалось и поэтому мы ограничиваемся только указанием некоторых данных для этих машин.

<sup>1)</sup> „Bus Transportation“, март, июль, 1929.

Таблица

Данные \ Машина фирмы	„Clayton“	„Delling“	„Sentinel“	„Atkinson“	„Bryan“	„Iorkshire“	„Fowler“	„Doble“	„Stanly“	„Carrett“	„Automotive Sinds C <sup>ca</sup> “	„Brucks“	„Sentinel“	Людинов, зав.
Система расширения . .	Один.	Один.	Один.	Один.	Один.	Комп.	Комп.	Комп.	Комп.	Один.	Один.	Один.	Один.	Один.
Число цилиндров . . .	2	3	2	2—3	2	2	2	4	2	2	8	8	6	2
Диаметры цилиндров мм:														
а) высокого давления	173	108	152,5	178	101,5	114,5	122	66,7	—	—	—	101,5	132,5	120
б) низкого давления .	—	—	—	—	—	190,5	190,5	114,3	—	—	—	—	—	—
Ход поршней $l$ мм . . .	257	120,7	203	255	127	203	203	127	—	—	—	114,3	158	170
Число $n$ об/мин. . . . .	150—450	255	390—595	200	220	450	—	820	—	800	—	2000	500	650
Мощность $N$ л. с. . . .	36	—	60	60—90	20	60	—	82	—	—	150	—	100	70
Отношение:														
$\frac{D}{d}$ . . . . .	—	—	—	—	—	1,164	1,561	1,713	—	—	—	—	—	—
$\frac{l}{d}$ . . . . .	1,485	1,117	1,331	1,428	1,250	1,773	1,664	1,906	—	—	—	1,126	1,192	1,42
$\frac{l}{D}$ . . . . .	—	—	—	—	—	1,065	1,065	1,111	—	—	—	—	—	—
Отношение длины шатуна $L$ к радиусу $r$ колен														
$\frac{L}{r}$ . . . . .	4	4,5	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—
Средняя скорость поршня м/сек. . . . .	3,86	1,02	4,02	1,70	0,93	3,05	—	3,47	—	—	—	7,62	2,63	3,65

К этой таблице данных сделаем только одно примечание: *дезаксиальная система* шатунно-кривошипного механизма, так широко распространяющаяся у двигателей внутреннего сгорания автотракторного типа, у быстроходных паровых моторов пока не встречается; средняя скорость поршня ( $C_m = 1,02 \div 7,62$  м/сек) выбирается в весьма широких пределах.

## НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ К РАСЧЕТУ ПАРОВЫХ МАШИН

Размеры паровых машин самоходов можно определять, исходя из уравнения работ за оборот ведущего колеса, по следующим, примерно, соображениям.

Пусть:

$p$  кг/см<sup>2</sup> — среднее давление пара в цилиндре машины,

$d$  см — диаметр цилиндра,

$l$  м — ход поршня,

$D_k$  м — диаметр ведущего колеса,

$Z$  кг — касательное усилие (сила тяги), приложенное к колесу.

Очевидно, что работа сил, приложенных к поршню, вследствие нагрузки последнего паром, выразится за один оборот уравнением:

$$p \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l = N. \quad (44)$$

С другой стороны, работа силы  $Z$  движущей и приложенной к ведущему колесу составит:

$$Z \cdot \pi D_k = N.$$

Приравнявая эти работы, будем иметь:

$$Z \cdot \pi D_k = p \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l. \quad (45)$$

Отсюда, очевидно, имеем:

$$Z = p \cdot \frac{d^2}{D_k} \cdot \frac{l}{2}. \quad (46)$$

Иначе, сила тяги, которую должна обеспечить машина по размерам цилиндра, прямо пропорциональна величинам  $p$ ,  $d$  и  $l$  и обратно пропорциональна  $D_k$ .

Такое соотношение имеет место для одного цилиндра при непосредственной передаче от поршня на колесо.

Вводя обозначения:

$$p = \alpha p_k,$$

где  $p_k$  — давление пара в котле, а  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от степени открытия паровпускного вентиля, величины отсечки, способа действия машины и т. п.,  $i$  — число цилиндров, легко получить, при прямой передаче, следующий ряд формул:

а) Для сдвоенных ( $i=2$ ) машин одиночного расширения:

$$Z_{20} = \alpha \cdot p_k \cdot \frac{d^2}{D_k} \cdot l = \alpha \cdot p_k \cdot d^2 \cdot \frac{l}{D_k}. \quad (47)$$

б) Для строенных ( $i=3$ ) машин одиночного расширения:

$$Z_{30} = 1,5 \alpha \cdot p_k \cdot d^2 \cdot \frac{l}{D_k}. \quad (48)$$

в) Для двухцилиндровых компаундов при отнесении расчета к цилиндру низкого давления  $D$ :

$$Z_{2k} = \alpha \cdot p_k \cdot D^2 \cdot \frac{l}{2D_k}. \quad (49)$$

г) Для четырехцилиндровых машин одиночного расширения:

$$Z_{40} = \alpha \cdot p_k \cdot d^2 \cdot \frac{2l}{D_k}. \quad (50)$$

д) Для четырехцилиндровых компаундов, имеющих два цилиндра высокого и два цилиндра низкого давления:

$$Z_{4k} = \alpha \cdot p_k \cdot D^2 \cdot \frac{l}{D_k}. \quad (51)$$

е) Для шестицилиндровых машин одиночного расширения:

$$Z_{60} = 3 \alpha \cdot p_k \cdot d^2 \cdot \frac{l}{D_k}. \quad (52)$$

Таким образом размеры цилиндров легко могут быть определены, если известна сила тяги по цилиндрам, заданная или рассчитанная для данного самохода.

Коэффициент  $\alpha$ , введенный нами в данные выше формулы, может быть представлен в виде

$$\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2,$$

где

$\alpha_1$  — зависит от среднего индикаторного давления в цилиндре, отсечки, способа действия пара и т. п.

$\alpha_2$  — зависит от качества машины и ее к. п. д.

Для машин самоходов можно было бы в среднем принимать:

а) при машинах одиночного расширения

$\alpha = \alpha_2 \cdot \alpha_1 = 0,50 \div 0,55$  — в случае легковых машин,

$\alpha = \alpha_2 \cdot \alpha_1 = 0,60 \div 0,65$  — в случае грузовиков;

б) при компаундах, в зависимости от отношения объемов цилиндра низкого давления ( $W_n$ ) и высокого давления ( $W_v$ ) можно наметить для ориентировки значения  $\alpha$  из табл. 16.

Заметим еще, что цилиндры машины следует рассчитывать по  $Z_{\text{макс}}$ , при котором паровой ventиль открыт полностью и давление пара мало отличается от котлового, а отсечка впуска имеет порядок  $45 \div 65\%$  (случай максимальной продолжительной работы).

Таблица 16

При $\frac{W}{W_n} =$	2,00	2,25	2,50
Для легковых машин $\alpha =$	0,45	0,42	0,40
Для грузовых машин $\alpha =$	0,50	0,48	0,45

Те формулы, которые нами приведены выше, даны для ориентировочных, предварительных расчетов.

Вообще же правильное определять мощность, которую необходимо дать машине, устанавливаемой на самоход, исходя из расчета сопротивлений, преодолеваемых при езде по дороге при данной скорости, т. е. определяя мощность, потребную на вращающих колесах и соответственно потребную мощность (или крутящий момент) на валу машины.

Этим вопросом мы будем заниматься ниже при расчете тяги, избыточной мощности машин и ограничений, влияющих на работу самохода.

После определения размеров машины известными способами<sup>1)</sup>, всегда приходится рассчитать расходы пара.

Эти расходы могут быть определяемы по формулам, приведенным ниже, взятым нами из курсов паровых машин.

а) Расход на индикаторную лошадиную силу в час

$$G_1 = \frac{120 \cdot n}{N} [(\varepsilon + \sigma) \gamma_1 - (\varepsilon_c + \sigma) \gamma_2] V_h, \quad (53)$$

где:

$n$  — число об/мин.,

$\frac{N_i}{V}$  — индикаторная мощность в л. с.,

$\varepsilon = \frac{V_2}{V_h}$  — степень наполнения,

$\varepsilon = \frac{V_3}{V_h}$  — степень сжатия,

$\sigma = \frac{V_0}{V_h}$  — степень вредного пространства,

$\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — удельный вес пара при давлениях впуска и выпуска,

$V_h$  — объем цилиндра в м<sup>3</sup>.

б) Расход пара на начальную конденсацию в цилиндре

$$G_2 = \alpha \cdot \frac{B}{V C_m}, \quad (54)$$

где:

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от отношения  $\frac{l}{d}$ ,

$C_m = \frac{ln}{30}$  м/сек — средняя скорость поршня.

<sup>1)</sup> Жирицкий, проф. Паровые машины.  
Дуббель, проф. Паровые машины, и др.

в) Расход пара на пропуски:

$$G_3 = (0,7 \div 0,8) \left( \frac{8,8}{\sqrt{N_i \cdot C_m}} + \frac{1}{2C_m} \right). \quad (55)$$

Полный расход на одну индикаторную лошадиную силу составит:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \text{ кг}, \quad (56)$$

а на одну эффективную лошадиную силу при к. п. д. машины  $\eta_m$  очевидно:

$$G_{ef} = \frac{G}{\eta_m} \text{ кг}. \quad (57)$$

Наконец эффективный к. п. д. машины может быть рассчитан по уравнению:

$$\eta_{ef} = \frac{632}{G_e(i - q_2)}, \quad (57)$$

где:

$i$  — теплота рабочего пара,

$q_2$  — теплота утилизируемого отработанного пара.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРОВОЙ МАШИНЫ

Определить расходы пара и  $\eta_{ef}$  машины самохода, работающей перегретым паром с параметрами  $p_1 = 55$  ата и  $t = 400^\circ \text{Ц}$ .

Задано:

машина двухцилиндровая . . . . .  $N_{ef} = 36$  л. с.,  
число оборотов вала . . . . .  $n = 240$  об/мин.,  
давление впуска . . . . .  $p_1 = 55$  ата,  
давление в конце расширения . . . . .  $p_e = 2$  ата,  
давление выпуска в конденсаторе . . . . .  $p_2 = 0,4$  ата,  
среднее индикаторное давление . . . . .  $p_i = 6,8$  ата,  
к. п. д. машины . . . . .  $\eta_m = 0,93$   
средняя скорость поршня . . . . .  $c_m \approx 1,5$  м/сек.

Решение.

Определяем индикаторную мощность одного цилиндра:

$$N_i = \frac{N_{ef}}{\eta_m} = \frac{18}{0,93} = 19,35 \text{ л. с.}$$

Определяем необходимое сечение цилиндра:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{75 \cdot N_i}{p_i \cdot c_m} = \frac{75 \cdot 19,35}{6,8 \cdot 1,5} = 142 \text{ см}^2.$$

Отсюда диаметр цилиндра:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 142}{3,14}} = 13,4 \text{ см.}$$

Учитывая влияние поршневого штока, принимаем оконча-  
тельно

$$d = 140 \text{ мм.}$$

Ход поршня определяем из условия:

$$l = \frac{30 \cdot c_m}{n} \approx \frac{30 \cdot 1,5}{240} = 0,185 \text{ м.}$$

Принимаем, окончательно размеры цилиндра:

$$d = 140 \text{ и } l = 185 \text{ мм.}$$

При этом имеем рабочий объем цилиндра

$$V_h = F \cdot l = 142 \cdot 18,5 = 2627 \text{ см}^3 \approx 0,00263 \text{ м}^3.$$

Сделаем для расчета полезного расхода пара предварительный подбор и подсчет величин, входящих в формулу расхода. Имеем:

$$\begin{aligned} \text{степень вредного пространства} & \dots \sigma = 0,04 \\ \text{степень наполнения} & \dots \epsilon = 0,03 \\ \text{степень сжатия} & \dots \epsilon_c = 0,85 \end{aligned}$$

удельный вес пара:

$$\begin{aligned} \text{при } p_1 = 55 \text{ ата и } t_1 = 400^\circ \text{ Ц.} & \dots \gamma_1 = 16,75 \\ \text{, } p_2 = 0,4 \text{ , } t_2 = 75^\circ \text{ Ц.} & \dots \gamma_2 = 0,245 \end{aligned}$$

При этом имеем полезный расход пара на одну индикаторную силу в час:

$$\begin{aligned} G_1 = \frac{120 \cdot n}{N_i} [(\epsilon + \sigma) \gamma_1 - (\epsilon_c + \sigma) \gamma_2] V_h &= \frac{120 \cdot 240}{19,35} [(0,03 + 0,04) 16,75 - \\ &- (0,85 + 0,04) 0,245] \cdot 0,00263 = 3,72 \text{ кг/л. с. час.} \end{aligned}$$

Определяем расход пара на начальную конденсацию в цилиндре:

$$G_2 = \alpha \cdot \frac{B}{\sqrt{c_m}}.$$

Принимаем, по проф. Жирицкому:

$$\alpha = 0,9, \text{ допустимое при } \frac{l}{d} \approx 1,3,$$

$$B = 0,2,$$

тогда

$$G_2 = 0,9 \cdot \frac{0,2}{\sqrt{1,5}} = 0,15 \text{ кг/л. с. час.}$$

Определяем расход пара на пропуски:

$$\begin{aligned} G_3 = 0,75 \left( \frac{8,8}{\sqrt{N_i \cdot c_m}} + \frac{1}{2c_m} \right) &= 0,75 \left( \frac{8,8}{\sqrt{19,35 \cdot 1,5}} + \frac{1}{2 \cdot 1,5} \right) = \\ &= 1,47 \text{ кг/л. с. час.} \end{aligned}$$

Полный расход пара будет:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = 3,72 + 0,15 + 1,47 = 5,34 \text{ кг/л. с. час.}$$

Расход пара на одну действительную лошадиную силу в час составит:

$$G_e = \frac{G}{\eta_m} = \frac{5,34}{0,93} = 5,52 \text{ кг/л. с. час.}$$

Наконец, определяем эффективный к. п. д. машины

$$\eta_{ef} = \frac{632}{G_e(i - q_2)} = \frac{632}{5,32(763 - 75)} = 0,166,$$

или

$$\eta_{ef} = 16,6\%.$$

## ЭКИПАЖ

Паровой самоход в полном развитии состоит из отдельных групп и узлов, которые можно сгруппировать в три больших комплекта.

1. *Силовая установка*, куда входят: паровой котел, машина, турбинки, промежуточные подогреватели, трубопроводы, конденсатор и др.

2. *Экипаж*, куда входят: рама, ходовые устройства, рулевое управление, рессорное подвешивание и др.

3. *Снаряжение*, куда входят: баки для воды и топлива, кузова с их принадлежностями, освещение и др.

В настоящей главе мы рассматриваем экипаж в его главнейших частях.

## ХОДОВЫЕ УСТРОЙСТВА

### А. Общие замечания

Ходовые устройства паровых самоходов можно разделить на *колесные*, *гусеничные* и *колесно-гусеничные*. Два последних вида этих устройств в настоящее время встречаются весьма редко, и мы имеем возможность назвать только 2-3 типа самоходов, работающих на гусеничном и колесно-гусеничном ходу.

Так, *гусеничные ходы* встречались у ряда паровых танков, участвовавших в империалистической войне, и сейчас встречаются у модернизированного танка „Рено“ (паровой „легкий танк иллирийского королевства“); затем гусеничный ход применен у 70-сильного парового трактора Людиновского завода; что касается колесно-гусеничного хода, то таковой встречается у одного из английских паровых тракторов „Sentinel“.

Прочее большинство самоходов работает на нормальных 4-колесных ходах и на 6—8-колесных ходах большой проходимости; последнего типа ходами снабжены, главным образом, грузовики различной грузоподъемности, в то время как нормальные ходы принадлежат, главным образом, тракторам и легковым автомобилям.

Разумеется, нет никаких затруднений к тому, чтобы гусеничный ход был внедрен в конструкцию парового самохода так же,

как это имеет место, например, у тракторов и танков с двигателями внутреннего сгорания.

Рассматривая ходовые устройства современных самоходов, мы вынуждены заниматься, главным образом, колесными ходами в виду того, что таковые пока являются господствующими.

Что же касается гусеничных ходов, то, поскольку они у рассматриваемых машин очень редки и поскольку они могут иметь то же общее устройство, что и у машин с двигателями внутреннего сгорания, мы считаем возможным ограничиться в отношении их только принципиальными соображениями следующего порядка.

а) Гусеничные ходы могут быть построены с гусеницами: жесткими, полужесткими, эластичными, мелкозвенчатыми, крупнозвенчатыми, цепляющимися и нецепляющимися.

б) Гусеничные ходы могут иметь: ведущую звездочку в конце гусеницы (end-type) или посередине типа (center-type), большое количество роликов малого диаметра, прижимающих нижнюю ветвь гусеницы к почве, или, наоборот, малое число роликов большого диаметра.

в) Гусеничные ходы, наконец, могут иметь: 2—3—4 гусеницы, управление которыми может производиться при помощи бортовых фрикционов, дифференциальных устройств, самостоятельных электромоторов (как у больших танков), действующих на отдельные гусеницы.

Приведенная—самая краткая—информация по вопросу о гусеничных ходах, показывает то огромное количество возможностей, какое в смысле схем и конструкций может быть использовано при проектировании гусеничного хода для парового самохода.

Так как по гусеничным ходам имеется специальная литература, а самые ходы у паровых самоходов редки, то мы позволяем себе отослать читателя к специальным главам и отдельным монографиям, посвященным гусеничным ходовым устройствам<sup>1)</sup>.

Ниже рассматриваем колесные ходы—нормальные и повышенной проходимости.

## Б. Колесные ходы

Колесные ходовые устройства паровых самоходов можно классифицировать по числу и роду осей (колес) и по шинам; такая классификация позволяет выделить:

- 1) двухосные, трехосные и четырехосные ходы,
- 2) ходы с одной ведущей осью и двумя ведущими осями,

---

<sup>1)</sup> *Медведев*. Теория гусеничных систем. Киев, 1934.

*Заславский В.* Краткий курс расчета механизмов танков. Москва, 1934.

*Львов Е.* Тракторы. М., 1933.

*Добровольский В. А.* Многочерпаковые экскаваторы (глава—Гусеничные ходы). Киев, 1934, и др.

3) ходы с колесами: на металлических ободьях, на грузошинах и на пневматических шинах.

Диаметры ведущих и направляющих колес по абсолютной величине отличаются весьма разнообразными размерами и держатся в пределах:

у ведущих колес  $D_a = 1050 \div 2135$  мм,

у направляющих колес  $D_n = 825 \div 1325$  мм.

Большие колеса, как правило, принадлежат автомобилям класса Overtуре.

Ширина ведущих колес достигает при резиновых шинах 200 мм, а при железном ободе (у старых типов автомобилей, например, у автомобиля „Кейс“ 110 л. с.) — 910 мм.

Нагрузка на 1 пог. см ширины обода колеса держится в пределах  $p = 25 \div 125$  кг/см.

Попытка связать каким-либо образом диаметр  $D_a$  ведущего колеса с диаметром  $d$  цилиндра не дает для существующих автомобилей какой-либо закономерности; что же касается пределов для соотношений между  $D_a$  и  $d$ , то они оказываются, примерно, следующими:

а) для автомобилей с машинами одиночного расширения:

$$\frac{D_a}{d} = 6,90 \div 13,60,$$

б) для автомобилей с машинами двойного расширения:

$$\frac{D_a}{d} = 8,65 \div 12,65.$$

Пределы для соотношений между диаметрами  $D_n$  направляющих и диаметрами  $D_a$  ведущих колес могут быть уложены в ряд:

$$\frac{D_n}{D_a} = 0,53 \div 0,92 \div 1,00,$$

причем соотношения  $0,53 \div 0,92$  имеют место для тяжелых автомобилей (грузовиков, тягачей, тракторов), а 1,00 — для легковых.

Колеса с железным ободом, главным образом, являются принадлежностью автомобилей класса Overtуре и встречаются у машин класса Undertуре обслуживающих в качестве трактора с.-хоз. работы (тракторы „Bryan“, „Sentinel“). Все машины промышленного типа (тягачи, грузовики) и машины специального назначения (для коммунального хозяйства, военные и др.) обычно снабжены резиновыми шинами.

Колеса с железным и стальным ободом имеют обод плоского или корытного сечения и чаще всего плоские спицы; в отдельных случаях спица таврового сечения (тракторы „Lapz“) либо круглого (тракторы „Case“).

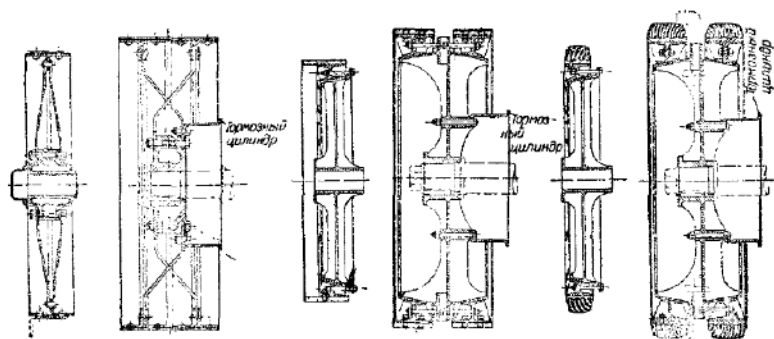
Ведущее колесо с железным ободом вооружается различного рода „шпорами“, „мозолями“ и, вообще, зацепами, подобно

колесу тракторов с двигателями внутреннего сгорания; у очень тяжелых машин встречается применение добавочного обода для уширения колеса при езде по бездорожью, пескам и т. п.

Железный обод направляющего колеса выполняется обычно прокаткой и снабжается кольцевым гребнем, расположенным в средней плоскости или по краю обода.

Колеса с резиновыми шинами выполняются таких же типов и конструкций, какие применяются для грузовиков и автомобилей с двигателями, причем применяются и такие же материалы.

Для того, чтобы дать представление о конструкции колеса приводим (фиг. 99 — 104) несколько колес „Sentinel“, данных в разрезе.



Фиг. 99    Фиг. 100.    Фиг. 101.    Фиг. 102.    Фиг. 103.    Фиг. 104

а) Направляющее колесо (фиг. 99) сельскохозяйственного трактора, выполненное с диаметром  $D_n = 1220$  мм и ободом шириною  $B_n = 200$  мм, снабженным гребнем из углового железа по кромке обода.

б) Ведущее колесо с.-хоз. трактора, выполненное (фиг. 100) с железным ободом, имеющим диаметр  $D_v = 1370$  мм и ширину  $B_v = 460$  мм; колесо имеет два ряда спиц и приболченную тормозную шайбу (цилиндр).

в) Направляющее колесо без шины (фиг. 101), состоящее из литого корпуса и стального обода, имеющего  $D_n = 1080$  мм и  $B_n = 200$  мм.

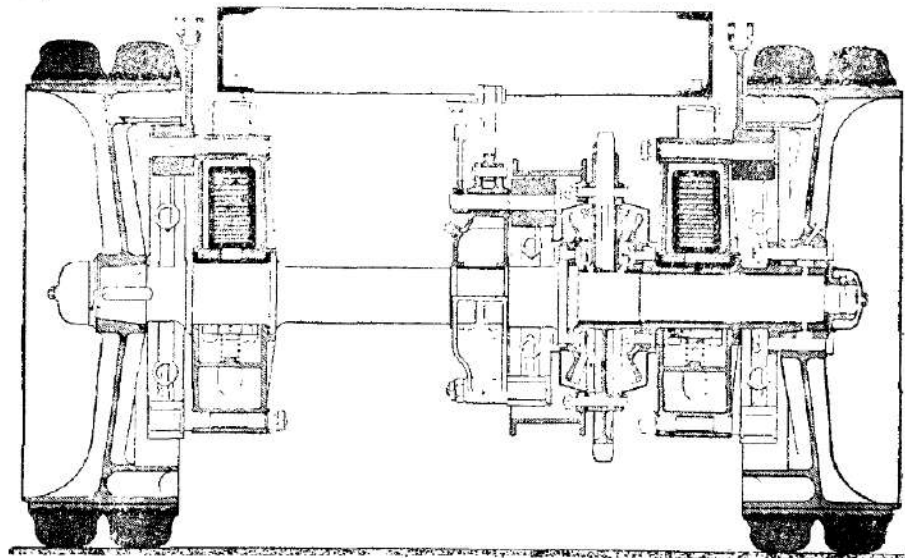
г) Ведущее колесо (фиг. 102) такой же конструкции, как предыдущее направляющее, с двойным ободом  $D_v = 1340$  мм и  $B_v = 2 \times 180 = 360$  мм.

д) Направляющее (фиг. 103) и ведущее (фиг. 104) колеса грузовика с грузошинами, имеющие соответственные размеры (по шине):

$$\begin{aligned} D_n &= 1065 \text{ мм}, B_n = 120 \text{ мм}, \\ D_v &= 1270 \text{ мм}, B_v = 2 \times 180 = 360 \text{ мм}. \end{aligned}$$

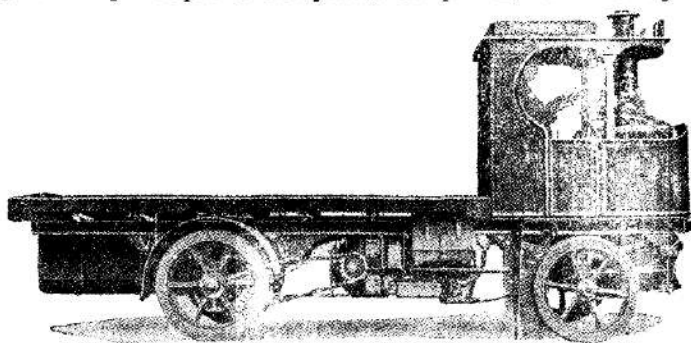
Ряд колес иного вида („ажурных“ и др.) можно видеть на фигурах самоходов, данных в различных главах этой работы.

Ниже приводим несколько фотографий осей с колесами и другими деталями хода.



Фиг. 105

а) На фиг. 105 представлена в разрезе ведущая ось с колесами на грузошинах, принадлежащая четырехколесному самоходу фирмы „Atkinson“ (класс Undertype). Чертеж отчетливо показывает конструкцию литых ребристых колес; их связь с осью и тормозами; буксы и рессоры в хомутах, опирающиеся на буксы. На

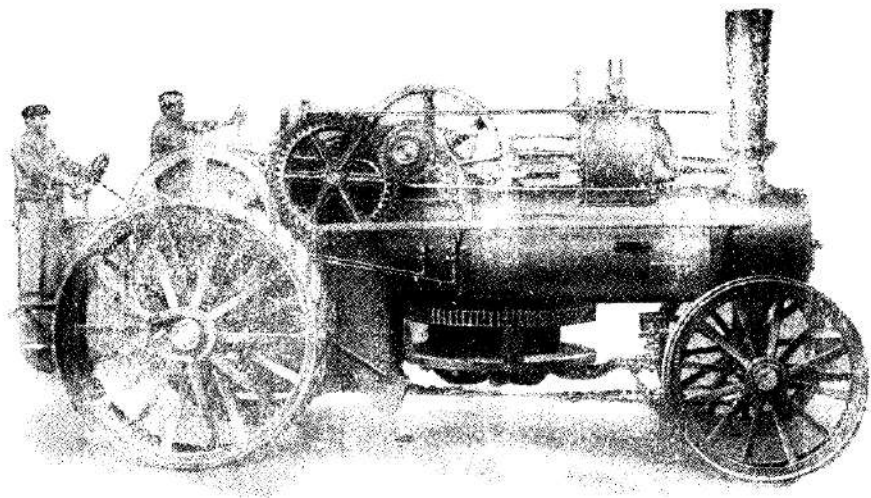


Фиг. 106

этом же чертеже показана звездочка ведущей цепи, собранной с дифференциалом из конических зубчаток.

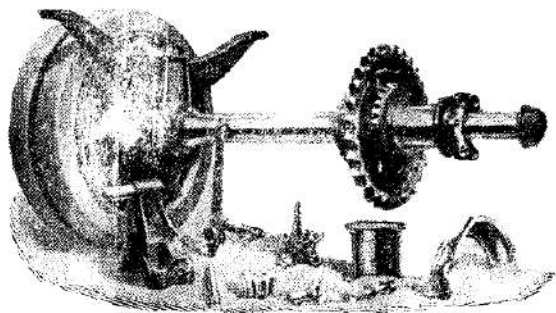
Самоход, которому принадлежит эта ось, представлен в общем виде на фотографии (фиг. 106).

б) Устройство типичного жесткого 4-колесного хода, часто встречающегося у самоходов Overture, можно хорошо рассмотреть по фотографии (фиг. 107) самохода германской фирмы „Dampfplflug Fabrik in Heilbronn a. N“, на которой видны: кон-



Фиг. 107

струкция колес, типичная для Overture, система колес, передающих вращение от коленчатого вала машины; тип рулевого управления передними колесами. Недостатком хода этого типа является связь и близость к топке задней оси, что нами уже отмечалось выше.



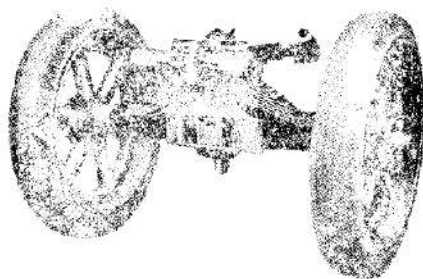
Фиг. 108

в) Более удачным является 4-колесный ход самохода Overture, завода „Robey & Co“, Lincoln, представленный в деталях на фиг. 108 — 110, где даны:

1. Ведущая ось с колесами, рессорой и цепной звездочкой, собранной с дифференциалом (фиг. 108).

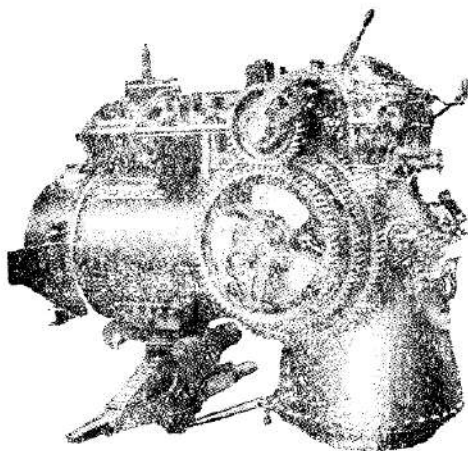
2. Направляющая, передняя, ось с рессорой, поворотным устройством и пружинами (боковыми, спиральными), возвращающими ось в среднее положение (фиг. 109).

3. Трансмиссия, собранная на котле, передающая движение от коленчатого вала машины к ведущей оси, обеспечивающая при данном числе оборотов вала и данном режиме работы машины три скорости хода (фиг. 110).



Фиг. 109

Ведущая ось этого хода расположена на раме самохода вне котла; направляющая же — связана вертикальным шкворнем с



Фиг. 110

седлом, приклепанным к котлу в передней его части, и имеет головку с ушком для связи с „вожжей“ рулевого управления.

Этот хорошо поддрессоренный ход допускает повышенные скорости самохода и имеет устойчивое движение легко управляемой передней оси.

Как можно видеть, оси снабжены плоскими, листовыми, рессорами со свободно скользящими концами и колесами с литым ободом и спицами круглого сечения.

Самоход с этим ходом показан на фиг. 111.

## В. Колесные ходы повышенной проходимости

Паровые самоходы, кроме четырехосных нормальных ходов, весьма часто работают на 6-колесных и 8-колесных ходах

Фиг. 111



ET1969 Sentinel waggon no. 3899 built in 1921

повышенной проходимости. Эти ходы имеются, главным образом, у самоходов Undertype и встречаются у класса Overttype только при комбинации самохода с прицепкой.

На фиг. 112 представлен паровой самоход „Sentinel — Overseas — Six на 6-колесном ходу. Как можно видеть на чертеже, задние оси этого хода связаны между собою балансиром, причем передняя из этих осей получает вращение от цепной передачи, устроенной между осью и валом машины.

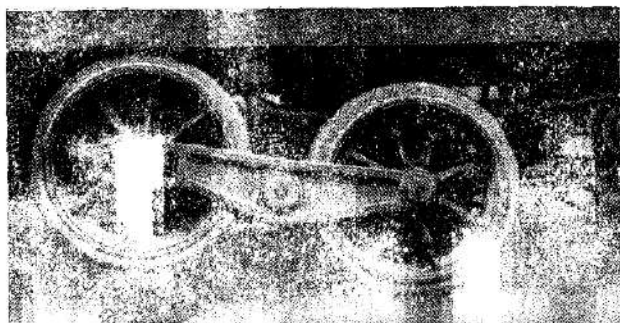


Фиг. 112

Обе оси, связанные балансиром, являются ведущими, что достигается путем спаривания их посредством передачи рольной цепью, видной на фиг. 113.

Устройство колес и балансира отчетливо видно на фотографии (фиг. 113); поэтому надо добавить только небольшое замечание, касающееся этого устройства.

Балансир имеет центр качания, расположенный низко, что сделано по соображениям уменьшения вертикальной реакции колеса, имеющей место при набегании колеса на препятствие. На фиг. 114 это обстоятельство для наглядности изображено графически.



Фиг. 113

Кроме систем цепной передачи, шестиколесный ход может быть построен и с передачей карданом.

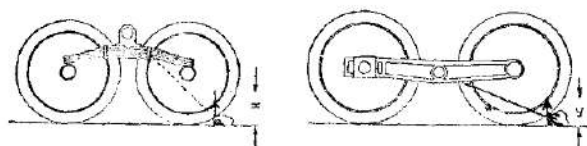
Грузовик с таким ходом представлен на фиг. 115.

В этом случае возможен ряд решений, из коих лучшими являются решения, при которых работа обеих осей ведущей группы согласована.

Одна из комбинаций с двухкарданным приводом представлена на фиг. 116 (The Iorkshire Patent Steam Wagon Co.).

При этом ходе передняя направляющая ось ни в какой мере не связана с осями задней группы и является свободно управляемой рулевым устройством (фиг. 117).

Вообще говоря, устройство шестиколесных ходов паровых самоходов принципиально, а часто и конструктивно, ничем не отличается от таких же ходов машин с двигателями<sup>1)</sup>, в силу чего ими мы далее и не занимаемся; рекомендуем читателям



Фиг. 114

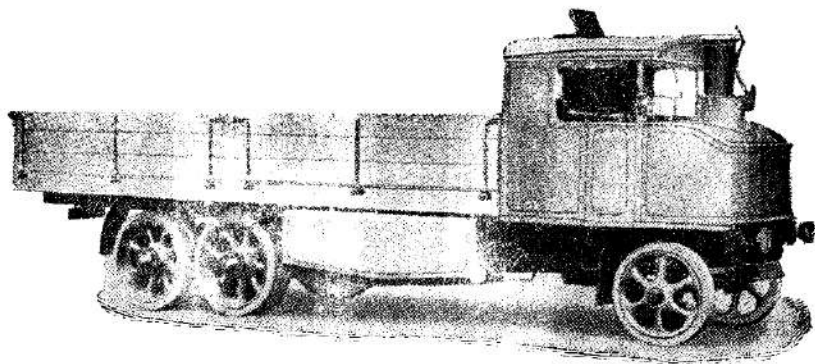
обратиться по вопросу об этих ходах к литературе по автомобилям<sup>2)</sup>.

Для тяжелых грузовиков большой грузоподъемности (10÷16 т)

<sup>1)</sup> Гольд. Шестиколесные автомобили, и др.

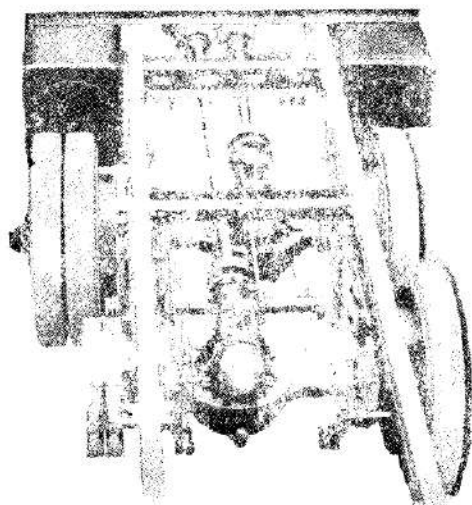
<sup>2)</sup> Проф. Чудаков; проф. Грибов и др.

практикуется применение четырехосного (восьмиколенного) хода, как у самохода, представленного на фиг. 15 этой работы, или как у самоходов, представленных на фиг. 118а и 118б, где четырехосный ход состоит из двух двухосных тележек, из



Фиг. 115

которых передняя — направляющая, а задняя — ведущая со спаренными и сбалансированными осями. Самоход (фиг. 118а)

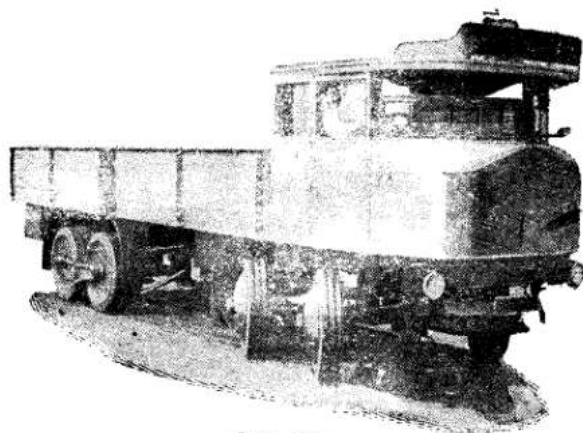


Фиг. 116

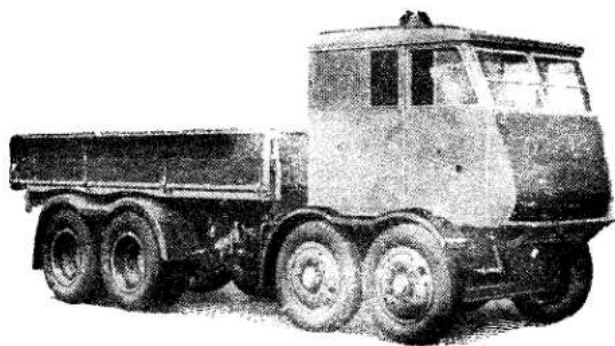
представлен в момент поворота, когда передние колеса тележки переходят из прямого положения в положение, показанное на схеме (фиг. 119) пунктиром, под действием механизма, связывающего колеса в одну систему, ясно видного на схеме (фиг. 119).



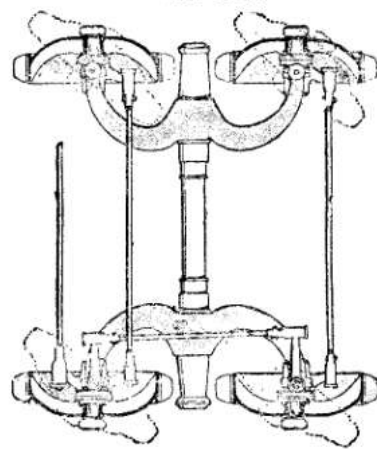
Фиг. 117



Фиг. 118 а

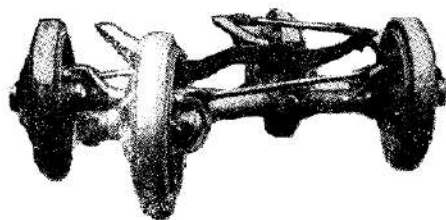


Фиг. 118 б



Фиг. 119

В целях обеспечить крутой поворот колес, рама направляющей тележки устроена таким образом, что колеса при повороте входят в особые „карманы“, устроенные в раме (фиг. 119).

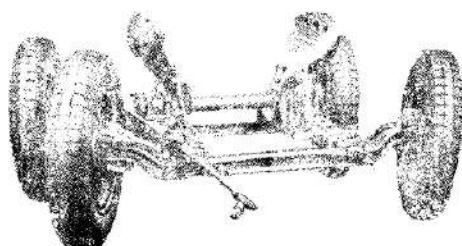


Фиг. 120 а

Общий вид поворотной тележки представлен на фотографии (фиг. 120 а), которая позволяет судить о виде осевых балок, представляющих собою подковообразные полые отливки, выполненные как одно целое с вилками, удерживающими колеса. Тележка представлена в положении предель-

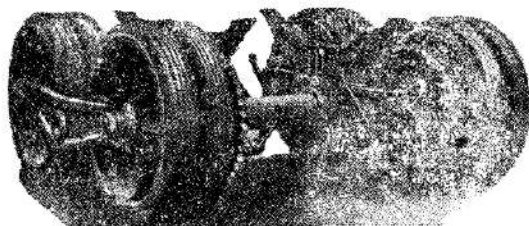
ного поворота колес. Обращаем внимание на то, что рама самохода опирается на поворотную тележку при посредстве двух листовых рессор, опирающихся серединой на площадки, сделанные в узлах криволинейных балок (вернее 3-образных балок), несущих колеса в своих вилках.

Более современный вариант тележки дан на фиг. 120 б.



Фиг. 120 б

Ведущая тележка (фиг. 120 б) этого самохода, представленная на фиг. 121, имеет одну среднюю ось, на концах которой устроены балансиры (наружные), несущие колеса, и поперечные (внутренние) конструкции, несущие: буксы с опирающимися на них рессорами и звездочки



Фиг. 121

цепных передач, принимающих работу от вала машины (I передача) и спаривающих колеса в одну ведущую систему (II передача).

## Г. Преимущество ходов повышенной и большой проходимости

Трехосные (6-колесные) машины известны в эксплуатации уже около 12 лет, а четырехосные — несколько меньше.

Опыты применения 3- и 4-осных ходов и практика их использования в гражданском и военном транспорте позволяет совершенно определенно указать<sup>1)</sup> ряд преимуществ этих ходов вне зависимости от того, имеем ли мы дело с моторным или паровым самоходом.

Эти преимущества сводятся к указываемому ниже.

1. *Увеличение экономичности транспорта.* Практика показывает, что трехосный грузовик может перебрасывать такой же груз (10 тонн), какой вывозят два двухосных 5-тонных грузовика; при этом все выгоды оказываются на стороне трехосного, ибо общий экономический эффект составляет по таким, примерно, соображениям.

а) Стоимость трехосного 10-тонного грузовика на 35—40% выше 5-тонного, т. е. настолько же выше и расходы по амортизации при одинаковых, примерно, расходах по гаражу и накладных расходах для обоих грузовиков.

б) Эффективность трехосного 10-тонного грузовика на 80—100% больше против эффективности двухосного 5-тонного.

Практика показывает, что если трехосный грузовик возит груз вдвое больший, чем двухосный, то результат сравнительной эксплуатации грузовиков с грузоподъемностью в 10 тонн и 5 тонн приводится к следующему: увеличение оперативных расходов для трехосного грузовика составляет сравнительно с этими расходами для двухосного только 35—40%.

Таким образом все преимущества оказываются на стороне трехосного.

2. *Трехосный ход уменьшает нагрузку на колеса,* давая более благоприятное разложение усилий на колеса. Это обстоятельство понижает моменты сопротивления перемещению и облегчает работу полотна и одежды дороги.

Если принять полный вес брутто трехосного 10-тонного и двухосного 5-тонного грузовиков соответственно равными 15000 кг и 9000 кг, то разложение этих нагрузок на колеса получается, примерно, следующим (табл. 17).

Таблица 17

На каждое колесо	Трехосный грузовик	Двухосный грузовик
Переднее . . . . .	8,8%	11,5%
Среднее . . . . .	20,6%	—
Заднее . . . . .	20,6%	38,5%

<sup>1)</sup> „Мех. и мотор. РККА“. Стр. 81—90, № 8, 1931 (выдержки).

Ясно, что колеса трехосного грузовика нагружены значительно меньше; равным образом несут меньшие нагрузки и оси.

Еще легче нагружаются колеса четырехосных грузовиков, влияние которых на дорогу еще более благоприятно.

В литературе<sup>1)</sup> имеются данные о прогибе дорожной корки под действием колес двухосных и трехосных грузовиков и давлении колес на дорогу.

Если средние давления для двухосных (4-колесных) имеют порядок  $p_{\text{ш}} = 0,45 \div 0,50 \text{ кг/см}^2$ , то для трехосных (6-колесных) оно составляет  $p_{\text{ш}} = 0,14 \div 0,18 \text{ кг/см}^2$ .

3. *Трехосные грузовики характеризуются уменьшенным мертвым весом, вследствие чего для них отношение веса полезного груза к весу самого грузовика благоприятнее, чем для двухосных.*

4. *Трехосные ходы улучшают условия передвижения по дороге и ослабляют дорожные толчки.*

Уменьшенная нагрузка колес заднего моста трехосной машины позволяет облегчить оси, колеса и шины; лучшее прилегание колес заднего моста, особенно при сопряженных осях, ведет к тому, что толчок о неровность дороги, воспринимаемый передними колесами заднего моста, передается на обе оси заднего моста; наконец, при двухосных задних мостах значительно меньше шансов на то, что все четыре колеса сразу попадут в условия, неблагоприятные для обеспечения надежного сцепления с дорогой в то время, как при двухосных ходах шансы на неблагоприятное положение хода в указанном смысле значительно больше.

5. *При трехосных ходах значительно лучше используется вес для сцепления с дорогой и обеспечивается лучшее сцепление.*

6. *Уменьшение ударного действия на дорогу при трехосных ходах предохраняет полотно и одежду дорог от повреждений, а с другой стороны — снижает изнашиваемость самохода.*

Вследствие уменьшения статической нагрузки на колесо трехосного и, вообще, многоосного самохода, а также вследствие действия балансирной подвески задних мостов, уменьшается и динамическое воздействие колес на дорогу, ибо, благодаря балансирам, часть интенсивности удара одного из колес передается на другие колеса. Поэтому, если, например, одно из колес заднего моста трехосного самохода попадает в яму, то и все надколесное строение самохода вместе с грузом упадет или будет подброшено только на половину той высоты, какая (в таком же случае) имела бы место при двухосном ходе. Это имеет огромное значение для величины удара, а равным образом для нагрузки рессор и износа шин.

Практика указывает на то, что износ шин у многоосных самоходов на 50—75% ниже, чем у двухосных, причем это по-

---

<sup>1)</sup> „Мех. и мот. РККА“. Стр. 82, № 8, 1931. „Quartermaster Review“ июль, август. 1924, стр. 6—7.

ложение одинаково относится как к грузошинам, так и к пневматикам.

Опыты *Бюро общественных дорог США*, проделанные с целью определить опытным путем силу ударов, получаемых при езде на двухосных и трехосных машинах, показали, что трехосный грузовик на пневматиках при полезной нагрузке в 5 тонн оказывает давление на подпочву порядка  $0,14 \text{ кг/см}^2$  (около 2 фунтов на кв. дюйм), тогда как двухосный грузовик на грузошинах при такой же полезной нагрузке оказывает давление в  $0,45 \text{ кг/см}^2$  (около 6,5 фунта на кв. дюйм), т. е. в три раза большее<sup>1)</sup>. Из тех же опытов берем следующие цифровые данные (табл. 18).

Таблица 18

Показатели	Машины		
	2-тонн. грузовик на пневматиках двухосный	5-тонн. грузовик на грузошинах двухосный	Грузовик с полезной нагрузкой 8,75 тонн трехосный
Общий вес с грузом, фунтов .	11000	20000	28700
Сила удара фунтов . . . . .	7300	29000	7000
Сила удара в % полного веса .	66,36	145	24,39

7. Сила тяги трехосных самоходов больше таковой у двухосных, ибо у первых используется в качестве сцепного веса  $80 \div 85\%$  общего веса самохода, тогда как у последних это использование определяется  $60 \div 65\%$ .

8. При нормальном двухосном ходе всегда имеется большое *холостое вращение ведущих колес* и в силу этого соответственно увеличенный износ шин, ибо в этой системе при переходе одного из колес через препятствие, встречающееся на дороге, шина несколько отстает от дорожного полотна и колесо получает свободное вращение, так как заднее колесо на противоположной стороне не дает тяги соответственно действию дифференциала. У трехосных самоходов при переходе колеса через препятствие колесо не может вращаться, так как другие колеса на другой оси плотно прилегают к дорожному полотну.

9. Трехосные самоходы, несущие на колесах заднего моста до  $85\%$  веса, при торможении всех четырех колес заднего моста обладают *большой безопасностью* благодаря уменьшению скольжения от торможения на все четыре колеса.

В случае неисправности тормоза на 1—2-х колесах у трехосных самоходов, тормозимых всегда на четыре колеса, всегда имеется тормозной резерв.

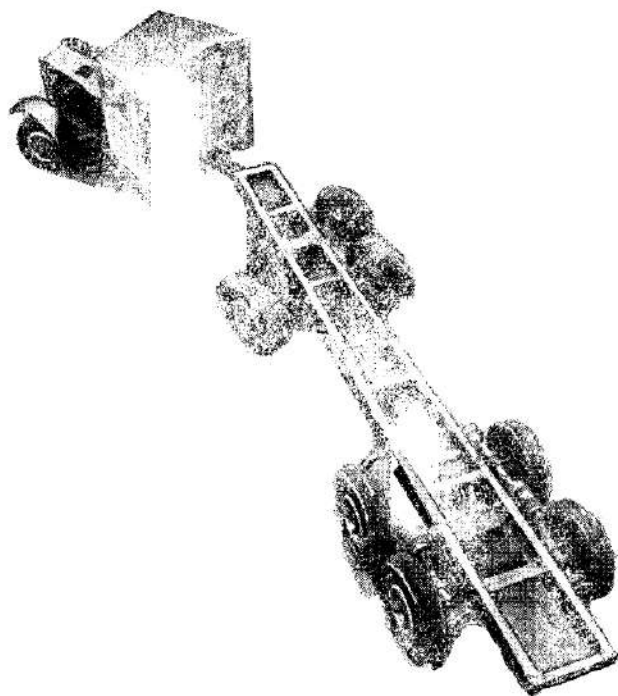
10. Применение балансиров между осями заднего моста трехосного самохода увеличивает *комфортабельность езды* вследствие увеличения общей эластичности хода и автоматического

<sup>1)</sup> „Mex. и мотор. РККА“, стр. 83, № 8, 1931.

распределения балансиrom части избыточной нагрузки колес или ударов одного из колес на все колеса заднего моста.

11. При сравнении процента *полезной нагрузки по отношению к мертвому весу* все преимущества остаются на стороне трехосных самоходов, у которых этот процент доходит до 143, тогда как у новейших двухосных машин он доходит до 100.

Указанные выше особенности самоходов, имеющих более двух осей, приводят к тому, что паровые грузовики, конкури-



Фиг. 122

рующие с моторными, строятся, главным образом, как трехосные, а при большой грузоподъемности, как это мы видели выше, — как четырехосные.

*Примечание.* Сравнительно недавно появился тип пятиосного моторного грузовика Флетнер - Круппа с серво-управлением (фиг. 122). Грузовик имеет 6 - цилиндровый мотор  $N = 150$  л. с.

Такая система среди паровых самоходов пока отсутствует, но она принципиально возможна и легко осуществима и при паросиловой установке.

## ПРОЧИЕ ЧАСТИ ЭКИПАЖА И СНАРЯЖЕНИЕ

О частях экипажа и снаряжении мы делаем только несколько небольших замечаний, предпочитая подробнее остановиться на

том, что заслуживает внимания дальше — при описании отдельных самоходов.

В этой части паровые самоходы мало чем отличаются от моторных самоходов, по которым имеется большая литература, дающая и все сведения о предметах, относящихся к этой главе.

*Рамы* паровых самоходов выполняются либо как клепанные и сварные конструкции из различных сортов стали, начиная от углеродистых конструкционных и кончая высоколегированными, либо как конструкции со штампованными лонжеронами и литыми или штампованными междулонжеронными креплениями. Рамы получают различного рода усиления и устройства (кронштейны, серьги и т. п.) в местах, где должны крепиться котлы, машины и другие — надрамные или подрамные конструкции, как-то: блоки вспомогательных механизмов, баки, кузовы и т. п.

*Рессоры* главным образом — плоские, листовые, часто со свободными, скользящими концами, особенно в системе направляющих осей; имеются и безрессорные конструкции, встречающиеся, главным образом, у сельскохозяйственных самоходов различных типов, перемещающихся с малыми скоростями хода.

*Рулевое управление* либо цепное, либо с толкающими штангами, зубчатыми колесами и червяками, либо аккермановское с механизмом Жанто — обычного автомобильного типа. Первое (цепное), главным образом, применяется у самоходов класса Overtypе.

*Тормозы* выполняются в виде ручных и ножных, как у моторных самоходов, и выполняются в виде колодочных и ленточных конструкций, действующих на два или четыре колеса. Применение воздушного тормоза встречается редко и главным образом у тяжелых самоходов класса Undertypе; здесь же имеет место применение и паровых тормозов.

*Кабина водителя* обычно закрытого типа у всех самоходов, где таковая применяется; класс Overtypе чаще всего кабины не имеет; класс Undertypе редко не имеет кабины.

Кузова обычно имеют ту же форму, какой они обладают и у моторных самоходов. Именно, здесь грузовые площадки с высокими или низкими бортами или с решеткой, а равно кузова, присущие открытым легковым машинам и лимузинам. Грузовые площадки часто снабжены гидравлическим подъемом и опрокидывателями, позволяющими вести разгрузку с любого борта либо сзади. Самоходы специального назначения имеют на рамах: круглые и плоские цистерны, ящики для городских отбросов, лесовозные системы, рефрижераторы, укосины для подъема грузов постоянного или переменного вылета и т. п.

Кроме указанных частей, самоходы часто снабжаются различного рода лебедками, размещаемыми чаще всего снизу рамы и имеющими вертикальный или горизонтальный барабан. Крупные самоходы имеют длину троса у лебедок до 600 м.

Из предметов снаряжения, кроме лебедок, надо назвать: ящики и баки для топлива и воды, насосы для подачи топлива

и воды, баки для смазки и смазочные системы, вентиляторы, трубопроводы для воды, пара, топлива и смазки, дымоотводящие устройства, освещение, звуковые сигналы, ящики для инструмента и запасных частей и т. д.

Мы позволяем себе ограничиться только перечнем ряда предметов снаряжения, поскольку каких-либо особенностей эти предметы не имеют и одинаковы как для паровых, так и для моторных самоходов.

## ОТДЕЛЬНЫЕ САМОХОДЫ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В этой главе мы рассматриваем несколько самоходов хорошо зарекомендовавших себя марок и даем ряд технических сведений о паровых самоходах некоторых заграничных фирм, причем, делая описания, не разделяем самоходов по типам „Over“ и „Under“, а рассматриваем их по фирмам и по маркам.



Фиг. 123

Считаем долгом оговориться, что настоящая глава не охватывает рассмотрением *всех* марок *всех* фирм и заводов, строящих паровые самоходы, а охватывает только часть исполненных и хорошо работающих машин.

## ЗАГРАНИЧНЫЕ ПАРОВЫЕ САМОХОДЫ

### 1. Самоходы фирмы „The Sentinel Waggon Works Ltd“, Shrewsbury, England

Выше при изложении некоторых вопросов мы приводили фотографии (фиг. 15, 112, 118) нескольких самоходов названной фирмы („Sentinel“), в частности 6-колесный и 8-колесный паровой грузовик.

Поэтому здесь приводим фотографию только одной марки („3-way — Tipping Waggon“) парового 6-тонного грузовика на двухосном ходу с саморазгружающейся грузовой платформой, опрокидывающейся в три стороны: на правую и левую сторону и назад (фиг. 123).

Ниже (табл. 19) помещаем ряд данных о самоходах этой фирмы.

Таблица 19

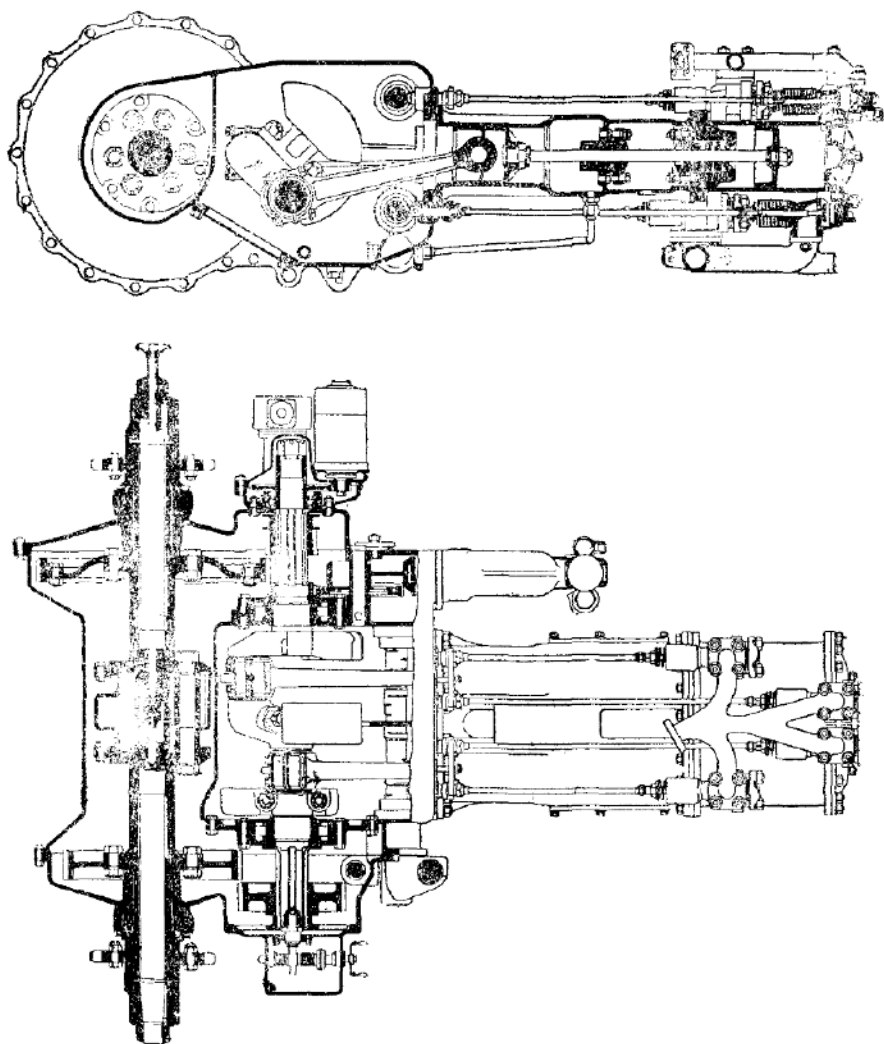
Марка	4 - осный DG - 8	3 - осный DG - 6	2 - осный DG - 4
Характеристика			
Назначение . . . . .	Грузовик	Грузовик	Грузовик
Стандартная грузоподъемность . . .	10	8	6
Максимальная грузоподъемность . .	12	10	7
Предельная скорость миль/час . . .	20	15	15
Класс . . . . .	Undertype	Undertype	Undertype
Давление пара фунт/дм <sup>2</sup> . . . . .	275	275	275
Диаметр цилиндров машины <i>d</i> . . . .	6	6	6
Ход поршня „ <i>l</i> “ . . . . .	8	8	8
Число оборотов вала об/мин. . . . .	435—650	390—595	390—595
Диам. передних колес . . . . .	5'10"	5'3"	5'8"
„ задних „ . . . . .	5'9 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> "	5'9 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> "	5'8"
Продольная база . . . . .	14'7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "	12'1 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> "	11'4"
Поперечная передняя база . . . . .	3'8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	—	—
„ задняя „ . . . . .	3'10"	3'10"	—
Радиус поворота . . . . .	33'	31'	28'
Полная длина . . . . .	29'3"	26'3"	21'7"
„ ширина . . . . .	7'6"	7'6"	7'6"
Размеры платформы . . . . .	22'9"×6'9"	20'×6'9"	13'6"×6'3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "

*Примечание.* Паровой котел и машина — стандартны. См. описание, данное выше.

Оставляя без описания ряд других грузовиков этой фирмы („Super-Sentinel“ — грузоподъемностью 4-5, 5-6 и 6-7 тонн, „Sentinel-Overseas Six“ — грузоподъемностью 7-9 и 8-10 тонн, „Pneumatik Tyred Sentinels“, выполняемый в шести вариантах для грузоподъемностей 5÷12 тонн и др.), полностью напоминающих описанные выше и отличающихся размерами грузовых платформ, ходом на пневматиках и несколько модернизированной паровой машиной (фиг. 124) при стандартном паровом котле, приводим фотографию парового автобуса (омнибуса) этой фирмы (фиг. 125),

построенного для перемещения со скоростью до 32 км/час (20 миль/час) и имеющего 30 пассажирских мест. Автобус перемещается на пневматиках и имеет стандартные котел и машину.

Наконец, даем фотографии двух паровых тракторов этой же фирмы: трактор „Sentinel“-Doublegeared промышленного типа



Фиг. 124

(фиг. 126) на резиновых шинах и трактор с. - хоз. типа „Rhinceros“ на железных шинах (фиг. 127).

Тракторы, имеющие оригинальную внешность, выполняются с двухцилиндровыми машинами одиночного расширения ( $d=171$  мм,

$l = 228$  мм), развивающими мощность  $60 \div 70$  л. с. и в самых неблагоприятных условиях расходующими  $9,07$  кг/л. с. час пара.



Фиг. 125

Паровой котел этих тракторов стандартного типа „Sentinel“ доставляет пар  $p = 19,75$  кг/см<sup>2</sup> и имеет: поверхность нагрева  $H = 5$  м<sup>2</sup>; площадь колосниковой решетки  $R = 0,37$  м<sup>2</sup>.



Фиг. 126

Сила тяги тракторов этого вида в моменты троганья с места достигает значений  $Z = 2450 \div 5100$  кг.

Скорости тракторов находятся в интервале  $V=5 \div 16$  км/час (5—8—9,5—16).

Радиус поворота  $R_n=6,2$  м.

Собственный вес  $G=5$  т.

Первый из тракторов (фиг. 126) представляет собою конструкцию, состоящую из передка и задней части, сцепленных между собою в одну систему.

Второй (фиг. 127) имеет характерное расположение машины под передними колесами впереди котла.

И тот и другой трактор по общей конструкции достаточно неуклюжи и в этом смысле ни в какой мере не могут конкури-



Фиг. 127

ровать с трактором „Бриан“, приведенным нами выше, и с рядом других тракторов, рассматриваемых ниже.

*Примечание.* Заметим, что паровые грузовики типа „Sentinel“, известные под маркой „Skoda-Sentinel“ с грузоподъемностями 4-5, 5-6 и 6-7 тонн на двухосном ходу выполняет чехословацкий завод „Акт. общ. зав. Шкода в Пильзене“.

## 2. Самоходы фирмы „The Jorkshire Patent Steam Wagon Co“, Leeds, England

Основным типом самоходов этой фирмы является грузовик, представленный на фотографии (фиг. 115); самоход имеет двухконечный локомобильный котел и вертикальную паровую машину, рассмотренные нами выше в соответствующих главах; передача на задний мост выполнена цепями. Самоходы строятся на двухосном и трехосном ходу.

Кроме обычного типа грузовиков — с грузовой платформой — фирма выпускает самоходы специального назначения. Один из таких самоходов представлен на фиг. 128, где изображен самоход с танком для городских отбросов. В этом последнем типе инте-



Фиг. 128

ресным является то, что танк может приподыматься на раме за конец, находящийся со стороны кабины водителя, и таким образом быстро опорожняться через горловину, устроенную в правом днище; подъем выполняется при помощи гидравлических приспособлений; танк оборудован всасывающими устройствами и спускными трубами.



Фиг. 129

Кроме грузовиков и самоходов специального назначения, фирма выпускает двухосный паровой трактор промышленного типа („Yorkshire Road Tractor“), представленный на фиг. 129.

Технические характеристики машин этой фирмы приводятся нами ниже в табл. 20.

Таблица 20

	Трехосный грузовик	Двухосный грузовик	Трактор
Класс . . . . .	Undertype	Undertype	Undertype
Грузоподъемность т . . . . .	10—12	6	—
Скорость миль/час. . . . .	12	12	—
Давление пара фунт/дм <sup>2</sup> . . . . .	215	215	215
Мощность машины л. с. . . . .	60	60	60
Число оборотов вала в мин. . . . .	450	450	450
Диаметры: ц. в. л. . . . .	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
ц. н. д. . . . .	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "
Ход поршней . . . . .	8"	8"	8"
Диаметр и ширина колес:			720×180 мм
передних . . . . .	720×160 мм	5'×7"	
задних . . . . .	850×160"	5'×7"	1181×160"
Продольная база . . . . .	16'8"	12'6"	10'
Радиус поворота . . . . .	29'	25'	—
Размеры кузова (платформ) . . . . .	20'×7'	15'×7'	—
Полная длина . . . . .	27'		15'3"
Полная ширина . . . . .	7'3"	7'	6'11"

### 3. Самоходы фирмы „Atkinson & Co, Frenshword Works“, Preston, England

Фирма „Atkinson“ строит 10 марок самоходов класса Undertype в виде грузовиков и тракторов (тягачей) и ряд машин для коммунального хозяйства, санитарных целей и др.

В табл. 21 собраны основные данные, касающиеся грузоподъемности и числа осей.

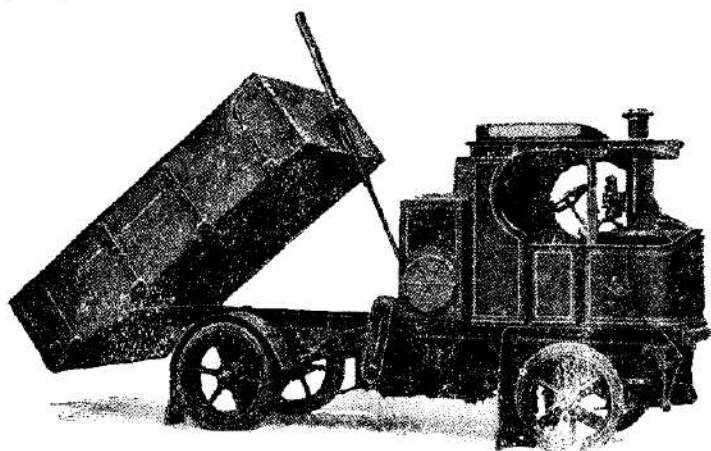
Таблица 21

Модель Характер.	A	AT	ATW	B	BT	BTW	C	CT	CTW	E
Грузоподъемность . . . . .	2,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	10
Грузоподъемность с прицепкой . . . . .	—	—	—	—	—	—	10	10	10	—
Число осей . . . . .	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Род кузова . . . . .	Плоск. платформ.	Платф. с бортами, опрокидывающ. назад	Платф. опрок. в три стороны	По А	По АТ	По АТW	По А	По АТ	По АТW	Плоская поворотн. платформ.

Паровой котел, рассмотренный нами выше в главе, посвященной котлам, стандартный — одинаков для всех моделей.

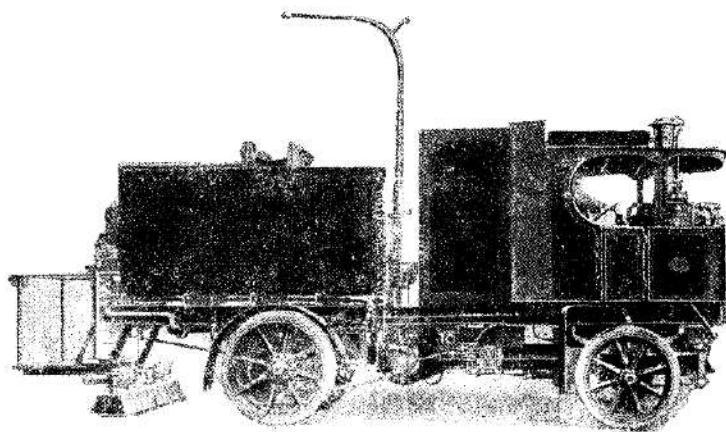
Машины имеют нормальное число оборотов вала  $n=200$  об/мин. при скорости самоходов  $V=8$  миль/час (13,5 км/час), при како-

вой и рассчитывается их нормальная мощность; вообще же грузовики могут работать со скоростями до  $V=12$  миль/час (20 км/час).



Фиг. 130

На фиг. 130 представлен легкий  $2\frac{1}{2}$ -тонный грузовик этой фирмы, модель АТ, с кузовом ящичного типа, опрокидывающимся назад („End-Type“).



Фиг. 131

Привод для опрокидывания кузова выполняется как механический, так и ручной.

Все модели А. В., С сходны между собой и отличаются

размерами кузовов, шинами и рессорами подвешиванием; поэтому, чтобы не повторяться, рисунков их не приводим.

На фиг. 131 даем один из самоходов специального назначения (чистка и мытье улиц) с баком, емкостью в 1000 галлонов.



Фиг. 132

Самоход этого типа строится также с баком в 1350 галлонов, причем баки выполняются как цилиндрические, так и прямоугольного сечения.

Трехосный самоход (фиг. 132) имеет среднюю ведущую ось и поворотную платформу, которая может поворачиваться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости на особом опорном шарнире. Длина платформы 24 фута (7,35 м).



Фиг. 133

Наконец, на фиг. 133 представлен самоход, модель С, выполняемый как трактор, способный тянуть по пересеченному профилю 14 тонн груза.

Радиус действия этого трактора (тягача) с 14-тонным грузом на прицепах определяется в 200 км без пополнения запасов воды и топлива.

#### 4. Самоходы фирмы „Foden Ltd, Elworth Works“, Sandbach, Ches, England

Самоходы этой фирмы представляют собою 2-3-осные грузовики и тракторы, причем фирма строит самоходы как Over-type так и Undertype.

Трехосные самоходы выполняются в двух вариантах: либо с двумя ведущими осями, входящими в состав заднего моста, либо с одной — средней — ведущей осью; в последнем случае задняя ось принадлежит платформе, шарнирно опирающейся на переднюю часть самохода, как это имеет место у ряда тягачей II рода.

Ниже (табл. 22) приводим некоторые технические данные о машинах этой фирмы и фотографии типичных машин.

Таблица 22

Характеристика	Грузовик стандарт.	Грузовик стандарт.	Грузовик с опр. кузов.	Грузовик с прицепп. платформ.	Грузовик с жесткой рамой	Грузовик с опр. кузовом	Трактор	Трактор
Тип грузовика . . . . .	Under	Over.	Over.	Over.	Over.	Over.	Over.	Under.
Число осей . . . . .	2	2	2	3	3	3	2	2
Грузоподъемность . . . .	6	6	6	10—12	10—12	10—12	—	—
Скорость на 1° подъеме, миль/час . . . . .	8—12	12	12	12	12	12	3—6— —9—12	3—6— —9—12
Котел:								
тип . . . . .	водотр.	локом.	локом.	локом.	локом.	локом.	локом.	водотр.
поверхность нагрева фут <sup>2</sup> . . . .	65,17	90	90	90	90	90	90	65,17
давление на ф/дм <sup>2</sup> . . .	250	230	230	230	230	230	230	250
Машина:								
тип . . . . .	двойня	комп.	комп.	комп.	комп.	комп.	комп.	двойня
диам. ц. в. д. дм . . . .	7"	4 1/4"	4 1/4"	4 1/4"	4 1/4"	4 1/4"	4 1/4"	7"
" " н. д. " . . . .	—	7"	7"	7"	7"	7"	7"	—
ход поршней . . . . .	10"	7"	7"	7"	7"	7"	7"	10"
Ведущие колеса:								
диаметр, мм . . . . .	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1374	1050
ширина, мм . . . . .	180	180	1080	180	160	160	180	180
Направляющее колесо:								
диаметр, мм . . . . .	900	970	970	970	970	970	1030	900
ширина, мм . . . . .	180	180	180	180	180	180	180	180
Средние колеса:								
диаметр, мм . . . . .	—	—	—	1030	—	—	—	—
ширина, мм . . . . .	—	—	—	180	—	—	—	—
Рулевое управление . . .	Аккер.	Ак.	Ак.	Ак.	Ак.	Ак.	Ак.	Ак.
Платформа:								
длина . . . . .	16'	14'	11'	23'	18' 6"	15'	—	—
ширина . . . . .	6' 7 1/2"	6' 7 1/2"	6' 6"	6' 7 1/2"	6' 7"	7'	—	—
Работая как тягач на подъеме в 7°:								
берет груз т . . . . .	—	10	10	—	—	—	10—12	10—12
при скорости миль/час . . . . .	—	8—10	8—10	—	—	—	8—10	8—10

Новейший грузовик „Foden“ имеет следующую характеристику и размеры:

Паровой котел, водотрубный, имеет:

поверхность нагрева . . . . .	$H = 8 \text{ м}^2$
площадь колосников . . . . .	$R = 0,33 \text{ м}^2$
давление пара . . . . .	$p = 18,7 \text{ кг/см}^2$
температура перегрева . . . . .	$t = 330^\circ \text{ Ц}$

Паровая машина — двойня с клапанным парораспределением — имеет:

диаметр цилиндра . . . . .	$d = 127 \text{ мм}$
ход поршней . . . . .	$l = 178 \text{ „}$
число оборотов вала . . . . .	$n = 500 \text{ об/мин.}$
мощность . . . . .	$N = 80 \text{ л. с.}$

Колесные базы:

продольная . . . . .	3924 мм
поперечная передних колес . . . . .	1892 „
задних . . . . .	1651 „
клиренс . . . . .	303 „

Такой грузовик, имеющий паросиловую установку, ничем больше не отличается от такого же бензинового.

На раме обычной для грузовиков конструкции расположен горизонтальный котел с топкой в передней части и дымовой трубой в задней части.

Сразу же за котлом, ниже рамы, подвешена паровая машина, работа от которой передается к ведущей оси карданным валом через червячный дифференциал.

Конец коленчатого вала машины образует собою первичный вал двухскоростной коробки передач.

Картеры машины и коробки скоростей сделаны из алюминиевого сплава.

Ходовые колеса — стальные, дисковые с пневматическими шинами 1016 × 203 мм; задние колеса — двойные.

Грузоподъемность на раме — 6 тонн; кроме того 6 тонн может быть взято на прицепке.

Грузовик имеет два тормоза: механический и паровой.

Общий вес грузовика в рабочем состоянии 6,75 тонны.

Грузовик обладает предельной скоростью до 80 км/час.

Такого типа грузовики фирма начала делать лет 5-6 тому назад<sup>1)</sup>.

Кроме стандартных грузовиков и тракторов фирма выпускает машины специального назначения: рефрижераторы, спринклерные для поливки улиц, для вывоза нечистот, густых жидкостей и т. п. Последнего типа машины выполняются как на стандартных рамах и ходах, так и на специальных, в зависимости от требований заказчика.

<sup>1)</sup> „Motor Transport“, 9/VI 1930.

Для представления о машинах этой фирмы приводим несколько фотографий и кратких к ним объяснений.

На фиг. 134 представлен стандартный грузовик класса Under-type с вертикальным водотрубным котлом и плоской грузовой платформой на 4-колесном ходу на грузошинах.

На фиг. 135 представлен также стандартный грузовик класса Overtype на 6-колесном ходу с коробчатым кузовом, опрокидывающимся назад, вправо и влево посредством гидравлического опрокидывателя. Ведущими являются обе задние оси.

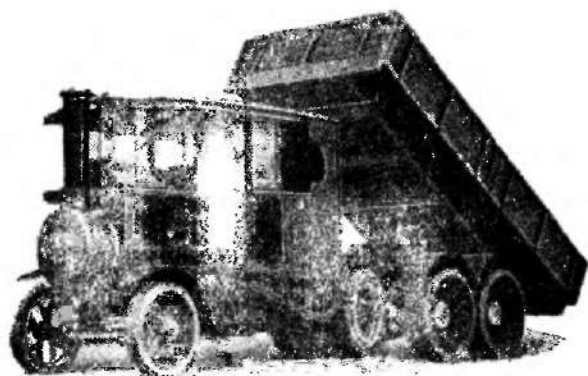


Фиг. 134

На фиг. 136 представлен грузовик класса Overtype на 6-колесном ходу с ведущей средней осью. Грузовая платформа опирается на раму грузовика шарнирно над ведущей осью, причем соединение выполнено так, что грузовая площадка может перемещаться как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной, и, таким образом, вся система легко проходит все неровности продольного профиля дороги и резкие кривые, а равно боковые, односторонние препятствия.

Угол поворота в горизонтальной плоскости составляет около  $80^\circ$  в каждую сторону от продольной оси самохода.

На фиг. 137 представлен короткобазный двухосный трактор класса Undertype с характерными для трактора-тягача сильными формами. Трактор — промышленного типа на грузошинах.



Фиг. 135



Фиг. 136



Фиг. 137

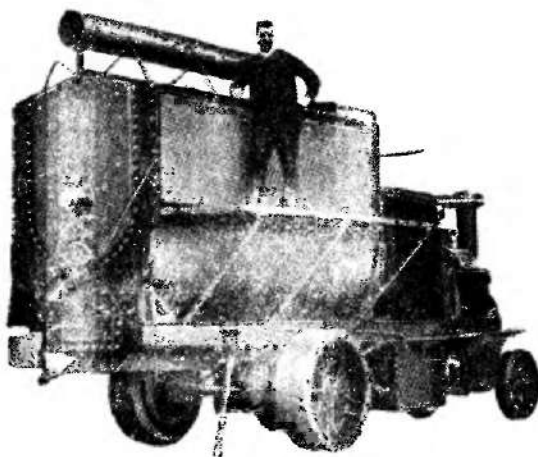
Другой трактор, класса Overtyre, представлен на фиг. 138. Он отличается от предыдущего большими ведущими колесами; однако, несмотря на это — при одинаковой мощности машин этого и предыдущего трактора — сила тяги трактора на крюке



Фиг. 138

одинакова, что имеет место вследствие неодинаковой „развески“ нагрузки по осям, благодаря чему сцепная сила тяги обоих тракторов одинакова.

Из машин специального назначения приводим только одну (фиг. 139); именно — грузовик с установкой для разогрева ас-



Фиг. 139

фальта, подогрев коего может быть выполнен как специальной огневой топкой, так равно и паром.

Приведенные фотографии позволяют рассмотреть: различное устройство колес, различное расположение баков и частей

снаряжения, различные очертания и формы отдельных узлов и самоходов в целом.

Что касается котлов и машин, то они рассмотрены нами выше в главах, посвященных этим вопросам.

### 5. Самоходы фирмы „John Fowler & Co“, Leeds, England

Самоходы Fowler, особенно тракторы класса Overtypе, у нас в СССР известны значительно более, чем машины других фирм, ибо эти машины в большом количестве остались у нас после империалистической войны, во время которой они работали в тяжелых дивизионах, а также на строительных работах, производившихся Первым и Вторым строительными управлениями (постройка жел. дорог и черных дорог, лесорубки и др.). После ликвидации фронтов часть машин попала на свеклосахарные плантации (Киевщина, Волинь, Подолия и др.) и лесорубки, часть осталась в Снабжении РККА. Во время стройки ЧТЗ часть машин собиралась по югу Украины для вывоза на строительную площадку ЧТЗ в качестве транспортных средств.

Машины класса Undertypе — более позднего происхождения в СССР почти неизвестны.

Тракторы класса Overtypе выполняются и с машинами одиночного расширения и с машинами компаунд, причем как те, так и другие тихоходны и работают на выхлоп; пар насыщенный (14 ат, 197°С).

Тракторы выполняются на 4-колесном ходу с колесами на железном ободе или на грузошинах; рулевое управление — цепное.

Отдельные марки этих машин выполняются с крановыми устройствами (стрелы для подъема груза), а равно с электросиловой установкой по схеме: паровая машина — динамо-моторы (вариант Шовманна); встречается одновременно комбинация с электросиловой установкой и крановой укосиной.

Некоторые из основных размеров и данных об этих тракторах приведены в помещаемой ниже табл. 23.

Для того, чтобы дать представление о самоходах этой группы, приводим ниже несколько фотографий.

На фиг. 140 даем трактор „Геркулес“ на железных колесах с груженой прицепкой; трактор типичен для класса Overtypе и чрезвычайно компактен.

На фиг. 141 представлен трактор „Большой лев“ на грузошинах, построенный в таком же типе, как и „Геркулес“, но большей мощности.

Этот же трактор („Большой лев“) на железных шинах представлен с грузоподъемным устройством на фиг. 142. Последнее устройство в виде крана с укосиной имеет грузоподъемность до 8 тонн; вообще же фирма строит три крана для грузоподъемности  $2 \div 8$  тонн с постоянным и переменным вылетом стрелы,

Таблица 23

Марка Характер	«Тигр»	«Геркулес»	«Аякс»	«Атлас»	«Малый лев»	«Большой лев»	«Сверх лев»
<b>Котел:</b>							
тип паровозный,							
давление пара, ат	10/14	10/14	10/14	10/14	10/14	10/14	10/14
поверхность нагрева, м² . . . .	5,3	7,2	8,1	12,7	13,1	14,1	14,1
площадь колосников, м² . . . .	0,3	0,4	0,4	0,46	0,50	0,66	0,66
темпер. пара, °Ц	197	197	197	197	197	197	197
<b>Машина:</b>							
мощность, л. с.							
а) одиноч. расширения . . . .	25/30	30/34	36/42	41/47	45/52	60/67	63/72
б) компаунд . . . .	29/33	36/40	41/45	48/53	53/59	67/76	70/80
нормальное число об/мин. . . .	225	200	175	150	150	150	150
число цилиндров	2	2	2	2	2	2	2
<b>Размеры цилиндров</b>							
компаунд - машин:							
диаметры, мм . . . .	108—190	121—203	146—254	152—267	162—279	171—292	178—305
ход поршней, мм	229	229	254	305	305	305	305
<b>Диаметр ведущих</b>							
колес, мм . . . .	1524	1524	1830	1980	1980	2135	2135
Ширина вед. кол., мм	305	305	406	457	457	457	508
Рабочий вес . . . .	5,25	7,25	9,50	13,00	13,25	14,50	15,00
Сила тяги, кг . . . .	2300	3400	5000	5500	6300	7000	7500
Вес груза нетто, перевозимый трактором, кг . . . . .	10000	12000	16000	20000	24000	28000	32000

*Примечание.* Давление пара  $p = 10$  ат при машинах одиночного расширения; при компаундах  $p = 14$  ат.

располагая укосины как со стороны передней оси трактора, так и со стороны задней его оси.

Пример расположения укосины со стороны задней оси даем на фиг. 143, где приведен трактор с установкой по схеме Шовманна, о которой мы говорили выше. У этого трактора краповое устройство поворотно, примерно, на  $270^\circ$  около колонны, устроенной в задней части трактора; паровая машина на спинке котла несколько сдвинута в сторону к топке; на спинке же котла расположены динамо и мотор.

Совершенно понятно, что если тракторные прицепки снабдить электромоторным приводом к колесам, то можно составить поезд с активными прицепками. Кроме того паро-электрическая установка дает и ряд других возможностей, вообще, весьма широких.



Fowler Road Locomotive, 13141 - Jo

Фиг. 140



Fowler Road Locomotive, 14115 - The Lion

Фиг. 141



Fowler Road Locomotive, 17106 - Duke of York

Фиг. 142



Fowler Road Locomotive, 17212 - Wolverhampton Wanderer

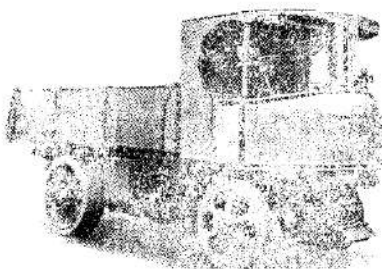
Фиг. 143

Что касается самоходов класса Undertype, которые строятся с огнетрубными паровыми котлами и V-образными паровыми машинами, о коих мы говорили в главе о машинах, то здесь для того, чтобы иметь представление о типе и расположении узлов силового агрегата, мы даем фотографию грузовика (фиг. 144) и вид рамы этого грузовика с паросиловой установкой (фиг. 145).

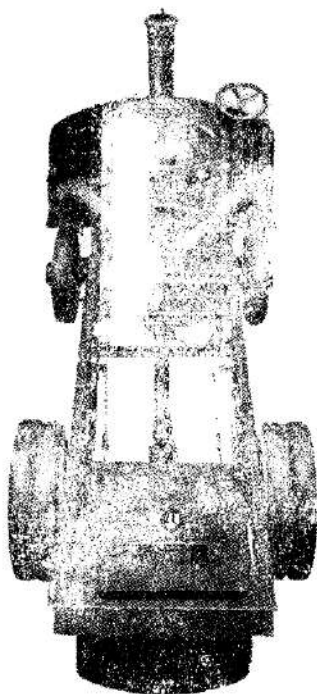
Грузовик отличается чрезвычайной простотой, почти полной симметричностью расположения оборудования и хорошим распределением веса.

Техническая характеристика грузовика сводится к следующему.

*Котел:* тип — огнетрубный, вертикальный; поверхность нагрева 88 кв. фут., поверхность пароперегревателя 12 кв. фут.



Фиг. 144



Фиг. 145

*Машина:* тип — компаунд с V-образным расположением цилиндров; диаметры цилиндров  $3\frac{3}{4}$ " и  $7\frac{1}{2}$ ", ход поршней 8".

*Колеса:* диаметр и ширина ведущих колес  $3'5"$   $\times$  160 мм; диаметр и ширина направляющих —  $3'0"$   $\times$  180 мм.

Задние шины — двойные.

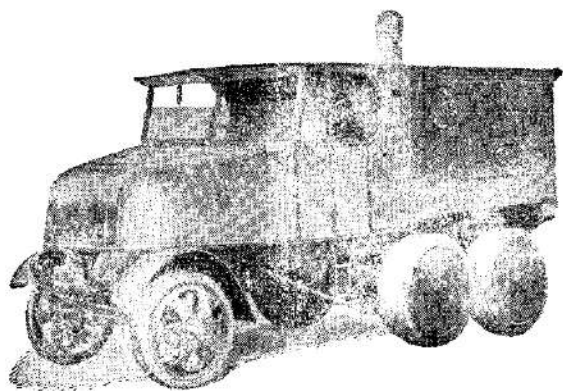
Продольная база колес —  $11'0"$ , радиус поворота —  $20'0"$ , грузоподъемность — 6 т.

## 6. Трактор фирмы „Richard Garrett & Sons Ltd“, Leiston, England

Этот трактор — один из новейших конструкций фирмы R. Garrett — представлен на фиг. 146.

Трактор (марка Suffolk Punch) значительно отличается от рассматривавшихся выше и внешним видом, и элементами (модель 1930 г.).

Как можно видеть по рисунку, трактор принадлежит к классу Undertype и имеет трехосный ход при двух задних ведущих осях; представление о заднем мосте может дать вполне фотография, помещаемая ниже (фиг. 147); обе задние оси связаны

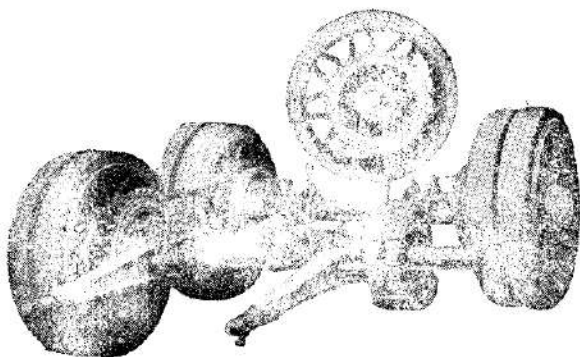


Фиг. 146

в спаренную систему цепной передачей и работают около средней скручивающей штанги, обычной для ходов такого типа.

Трактор может тянуть на прицепе груз  $36 \div 40$  тонн со скоростью около 19 км/час по удовлетворительной дороге.

Общая характеристика трактора и его размеров сводится к следующему.



Фиг. 147

*Паровой котел* — вертикальный, водотрубный, 17-атмосферный, расположен сзади сидения водителя.

*Паровая машина* — двухцилиндровая, одиночного расширения с клапанным парораспределением от кулачкового вала, работает с числом оборотов вала до  $n = 800$  об/мин. и имеет диаметр цилиндров  $d = 114,3$  мм при ходе поршней  $l = 190,5$  мм.

Машина расположена в передней части трактора вместе с двухступенчатой коробкой скоростей и дифференциалом; от последнего идет передача двумя цепями на задний мост.

Все четыре колеса заднего моста могут перемещаться в вертикальной плоскости независимо друг от друга и, таким образом, сохраняют контакт с дорогой при всякой поверхности последней.

Трактор имеет:

силу тяги на крюке около . . . . .	3500 кг
общий рабочий вес . . . . .	13 т
нагрузку передней оси . . . . .	3 т
нагрузку заднего моста . . . . .	10 т
скорости хода, устанавливаемые коробкой скоростей . . . . .	6,5 и 19 км/час
главную базу (от оси направляющих колес до оси скручивающей штанги заднего моста) . . . . .	3,05 м
базу ведущего хода . . . . .	1,17 „
радиус поворота . . . . .	15,85 „
общую длину . . . . .	6,65 „
„ ширину . . . . .	2,20 „
„ высоту . . . . .	3,95 „

## 7. Самоходы фирмы „Mapp's Patent Steam Cart & Wagon Co“, Leeds

Из самоходов этой фирмы мы рассматриваем два трактора-тягача класса Overtypе, являющиеся довольно оригинальными среди легких моделей самоходов такого типа.



Фиг. 148

Один из таких тракторов представлен на фотографии (фиг. 148), где он изображен с прицепкой.

Этот трактор (Agricultural-Tractor), предназначенный для работы как с сельскохозяйственными машинами, так и с грузовыми прицепками, имеет вес  $4\frac{1}{2}$  т и перемещает 5 т на прицепке и 1 т на самом себе — в ящике специальной формы, устроенном над ведущей задней осью. Последнее, само собою понятно,

нагружая ведущую ось, увеличивает сцепную силу тяги трактора за счет полезной нагрузки, перевозимой трактором.

Это составляет первую особенность конструкции.

Второй особенностью является устройство передних колес; эти колеса чрезвычайно сближены между собою и, таким образом, получается, что трактор имеет как-бы 3-колесный ход (2 колеса—ведущих и 1—сдвоенное, направляющее), что делает трактор весьма поворотливым.

Следующими особенностями является: очень близкое расположение к водителю паровой машины; паровой котел с боковым шуровочным отверстием (фиг. 41) для заброски брикета; боковое место водителя—со стороны шуровки.

Такого же типа трактор в ином выполнении—без грузового ящика на раме—представлен на фиг. 149.



Фиг. 149

Фирма гарантирует, что тракторы рассмотренного вида и размера способны вспахать в день 4-лемешным плугом 5 акров поля (при полных расходах в 1 фунт или 6 долларов) или, в метрических мерах 2,025 га.

## 8. Немецкие самоходы

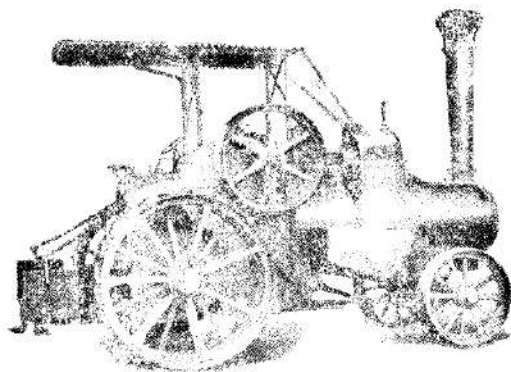
Немецкие самоходы, за исключением легкового автомобиля „Henschel & Sohn“, типа „Добль“, описанного в самом начале книги, главным образом, принадлежит к классу Overtypе. В общем все они являются самоходными локомотивами, конструкции коих описывались неоднократно.

В Германии этого типа самоходы строятся фирмами: „R. Wolf“, „H. Lanz“, „Henschel & Sohn“, „Güttler & Co“, „Esterer“, „Dampf-Flug-Fabrik in Heilbronn a. N.“ и др.

Если исключить из всей массы машин самоходы Heilbronn (фиг. 107), представляющие собою типичные дорожные локомотивы, то остальные, как типичные сельскохозяйственные локо-

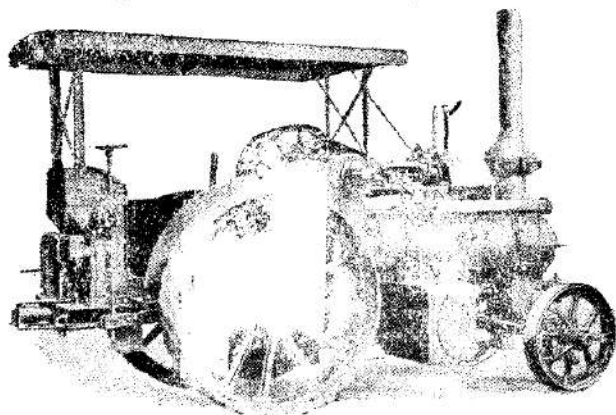
мобили, мало чем отличаются друг от друга<sup>1)</sup>). Поэтому мы ограничимся рассмотрением 2-3-х образцов этой группы.

Типичным представителем самоходов этой группы является самоходный локомобиль, изображенный на фиг. 150, постройки завода «R. Wolf A. G.», Magdeburg-Buckau.



Фиг. 150

Несколько иными формами и конструкциями отдельных узлов отличается от предыдущего самохода машина, представленная на фиг. 151, принадлежащая заводу «H. Lanz», Mannheim.



Фиг. 151

Разница легко может быть установлена самим читателем при внимательном рассмотрении фотографий.

- 
- <sup>1)</sup> См. 1. Добровольский В. А. Локомобиль и молотилка, Одесса, 1925.  
2. Ulbrich A., проф. Einrichtung und Betrieb fahrbarer und feststehender Lokomobilen, 426 стр., 134 фиг., Leipzig, 1923.  
3. Комлев И. А. Локомобиль, расчет и конструирование, 232 стр., 140 рис., Москва, 1931, и друг.

Эти самоходные локомобили строятся для работы на любом топливе, начиная от соломы и кончая жидким топливом, причем машины их — простого расширения или компаунды — работают как насыщенным, так и высокоперегретым паром.

Котлы, машины, пароперегреватели и подогреватели этих самоходов нами рассмотрены выше в соответствующих главах

Тормозная мощность				Маховик		
Нормальная	Продолжительная перегрузка	Кратковременная перегрузка	При специальной установке регулятора	Диаметр мм	Ширина мм	Число об/мин.
18	22	33	39	1250	160	300

В табл. 25 приводится ряд конструктивных данных для самоходов (фиг. 151)

Марка	РЕ 14	РЕ 22	РЕ 30
Данные			
Мощность в л. с:			
нормальная . . . . .	11	17	24
при длительной перегрузке . . . . .	14	22	30
при кратковременной перегрузке . . . . .	19	30	38
Пар . . . . .	насыщ.	насыщ.	насыщ.
Давление пара, кг/см <sup>2</sup> . . .	12	12	12
Длина топки для дров, мм .	800	1000	1050
Маховик $D \times B$ , мм . . . .	925×160	925×160	1000×200
Число об/мин. . . . .	250	250	230
Ведущее колесо $D \times B$ , мм	1550×360	1650×350	1800×500
Скорость хода, км/час . . .	3—5,3	3,6—6,5	3,3—5,9
Порожний вес, кг . . . . .	5950	7200	9100
Рабочий вес, кг . . . . .	7000	8200	10200
Нагрузка осей, кг:			
передней . . . . .	2450	2400	3100
задней . . . . .	4550	5800	7100
Перемещаемый груз в кг:			
На прямой хорошей дороге	15000	20000	25000
На 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> подъеме . . . . .	6000	8000	12000
На 8,5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> " . . . . .	3000	5000	8000
Парораспределение машины . . . . .	Золотя.	Клап.	Клап.

Примечание. У нас в Союзе самоходные лакомобили такого же типа

и потому здесь мы можем ограничиться только несколькими техническими характеристиками, полезными для сравнений и для извлечения некоторых показателей и измерителей.

В табл. 24 даем краткие эксплуатационные характеристики для локомобиля - самохода „R. Wolf“ (фиг. 150), работающего перегретым паром:

Таблица 24

Ходовые колеса		Давление пара кг/см <sup>2</sup>	Вес кг		Груз брутто в кг, перемещаемый	
Ведущее мм D×B	Направляющее мм D×B		Порож- ний	Рабочий	по гори- зонтали	на подъеме 1:12
1700×400	1100×210	10	8800	9800	15000	10000

Таблица 25

РЕ 43	РЕ 65	РЕН 22	РЕН 30	РЕН 43
34	50	17	24	34
43	65	22	30	43
55	80	30	38	55
насыщ. 12	насыщ. 12	перегр. 12	перегр. 12	перегр. 12
1000	1100	650	900	1000
1050×270	1270×280	925×160	1000×200	1050×260
220	200	250	230	220
1900×500	2000×750	1650×360	1800×500	1900×500
3,2—5,8	3,2—5,8	3,3—5,9	3,3—5,9	3,4—6,0
10300	12850	6700	9030	10800
11500	14900	7700	10200	12200
3500	5100	2300	2950	3700
8000	9800	5400	7250	8300
28000	35000	20000	25000	40000
18000	22000	8000	12000	18000
12000	15000	5000	7000	12000
Клап.	Золотн.	Клапан.	Клап.	Клап.

строит завод Людиловский и недавно начал строить Херсонский.

# ПАРОВОЙ САМОХОД В СССР

## А. Общие сведения

Если не касаться вопроса о паровых самоходных локомотивах сельскохозяйственного типа, которые у нас еще до империалистической войны изготовлялись на б. Мальцовском локомотивостроительном заводе (Людиново) и, кроме того, ввозились из-за границы, и касаться только тракторов и автомобилей с паросиловой установкой, то и в этом случае надо сказать, что паровой самоход в б. России известен давно. В журналах до-революционного времени<sup>1)</sup> можно разыскать ряд статей отчетного характера: о работе паровых тракторов в б. Херсонской и др. губерниях; о сравнительных испытаниях таких машин; о вспашке паровыми тракторами и т. п. В период войны в б. Россию было ввезено много паровых тракторов „Фаулера“, „Кейса“, „Румели“ и др., равно было привезено и несколько легковых паровых автомобилей с котлом „Серполе“ и двухцилиндровыми машинами (ввезены фирмами „Кейс“ и „Международ. К<sup>о</sup> жатвенных машин“), наконец, как мы уже упоминали, Коломенский завод построил несколько 100-сильных паровых тракторов с машинами Штумпфа.

Если не говорить о легковых машинах, только что упомянутых, все эти тракторы принадлежали к тяжелым типам класса Overttype, того самого класса, который представлял „национальную опасность“ для американских полей, угрожая плодородности последних прессовкой и испылением почвы тяжелым колесом, вооруженным по ободу лопатками, шпорами, мозолями и т. п.

В период 1917 — 1927 гг. у нас совсем не говорили о паровом самоходе, как о транспортном средстве больших возможностей, а затем начали раздаваться отдельные голоса в защиту машин этого типа, *которые мы слышим сейчас уже как призыв строить свои паровые самоходы, дабы не остаться сзади впереди идущих стран*<sup>2)</sup>.

Сейчас, главным образом, имеются в виду машины класса Underttype с котлами и машинами высокого давления; хотя, надо сказать, что и машины класса Overttype с котлами повышенного давления (17 — 22 ат) у нас могут иметь в ряде мест определенный успех при работе на местном топливе.

В самое последнее время у нас появились импортные паровые самоходы, ныне проходящие период испытания и изучения, и даже сделана попытка строить свой паровой гусеничный трактор (Людиновский завод). Наконец, у нас начали интересоваться вопросами собирания материалов, касающихся паровых самоходов (Научно-исследоват. института механизации лесного хозяй-

<sup>1)</sup> Напр.: „Известия Бюро с.-хоз. механики“ за 1912 — 1916 гг.

<sup>2)</sup> Инж. Гуляев („В. и. и т.“; инж. Дюмулен („Мех. и мот. РККА“); инж. Миттельман (газ. „Техника“) и др.

ства) и сделаны попытки к модернизации моторных машин; из области последних работ нам известны эскизные проекты такого типа:

а) паровой трактор типа „ХТЗ-15/30“ (авторы — инж. Жилин и Глузман),

б) паровой гусеничный трактор типа „Коммунар“ (авторы — инж. Шнейдер и Кошляцкий),

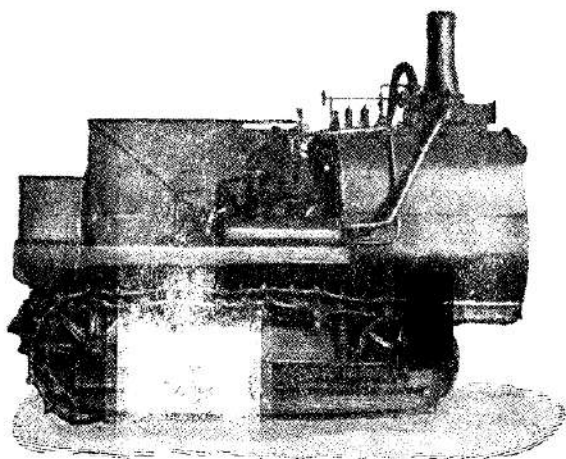
в) паровой 8-тонный трехосный грузовик (авторы — инж. Рагуцкий, Осетян и Прицкер).

Этого пока, конечно, мало.

Если названные три работы — пока только „проекты“, то исследования привезенных в Москву импортных самоходов и трактор, построенный Людиновским заводом — это уже большой шаг вперед.

## Б. Трактор Людиновского завода

Выше мы описали котел и паровую машину Людиновского трактора и привели данные лабораторных испытаний котла.



Фиг. 152

Помещаем фотографию этого трактора (фиг. 152), который пока является единственным из промышленных паровых самоходов на полном гусеничном ходу.

*Примечание.* Как мы уже говорили, на сегодня имеется колесно-гусеничный трактор. Кроме того, нам известен один тяжелый американский паровоз-снегоочиститель на гусеницах. Все эти машины не могут быть отнесены к машинам промышленного транспорта, в силу чего мы и отводим в этой области первое место Людиновскому трактору.

Гусеничный трактор Людиновского завода может быть кратко характеризован следующими данными.

Трактор имеет двухбарабанный экранированный котел (фиг. 55—57) с поверхностью, омываемой газами,  $H=10,78 \text{ м}^2$ , работающий на дровах. Параметры пара:  $p=22 \text{ ат}$ ,  $t=290^\circ \text{ Ц}$ . Паровая машина трактора—двойня простого расширения (фиг. 95—96)—имеет мощность  $N=70/78 \text{ л. с.}$  при  $n=650 \text{ об/мин.}$

Трактор построен на базе „СТЗ“, от которого отличается большей длиной гусениц (на 4 трака) и большим весом (на 2—2,5 т).

Коробка скоростей, сохраненная в конструкции трактора, обеспечивает следующую силу тяги на крюке при нормальной работе:

при $V=3 \text{ км/час}$	$Z_{кр}=4450 \text{ кг}$
$V=4,2 \text{ „}$	$Z_{кр}=3325 \text{ кг}$
$V=5,9 \text{ „}$	$Z_{кр}=2520 \text{ кг}$

Объем бункера для дров—1,55  $\text{м}^3$ .

Трактор пока проходит испытания и в правильной эксплуатации не был.

## В. Проект грузовика

Переходя к области проектов, позволяем себе кратко рассмотреть паровой 8-тонный грузовик с паросиловой установкой высокого давления.

Этот грузовик представлен в двух видах на фиг. 153 и спроектирован на базе Ярославского грузовика („ЯЗ“).

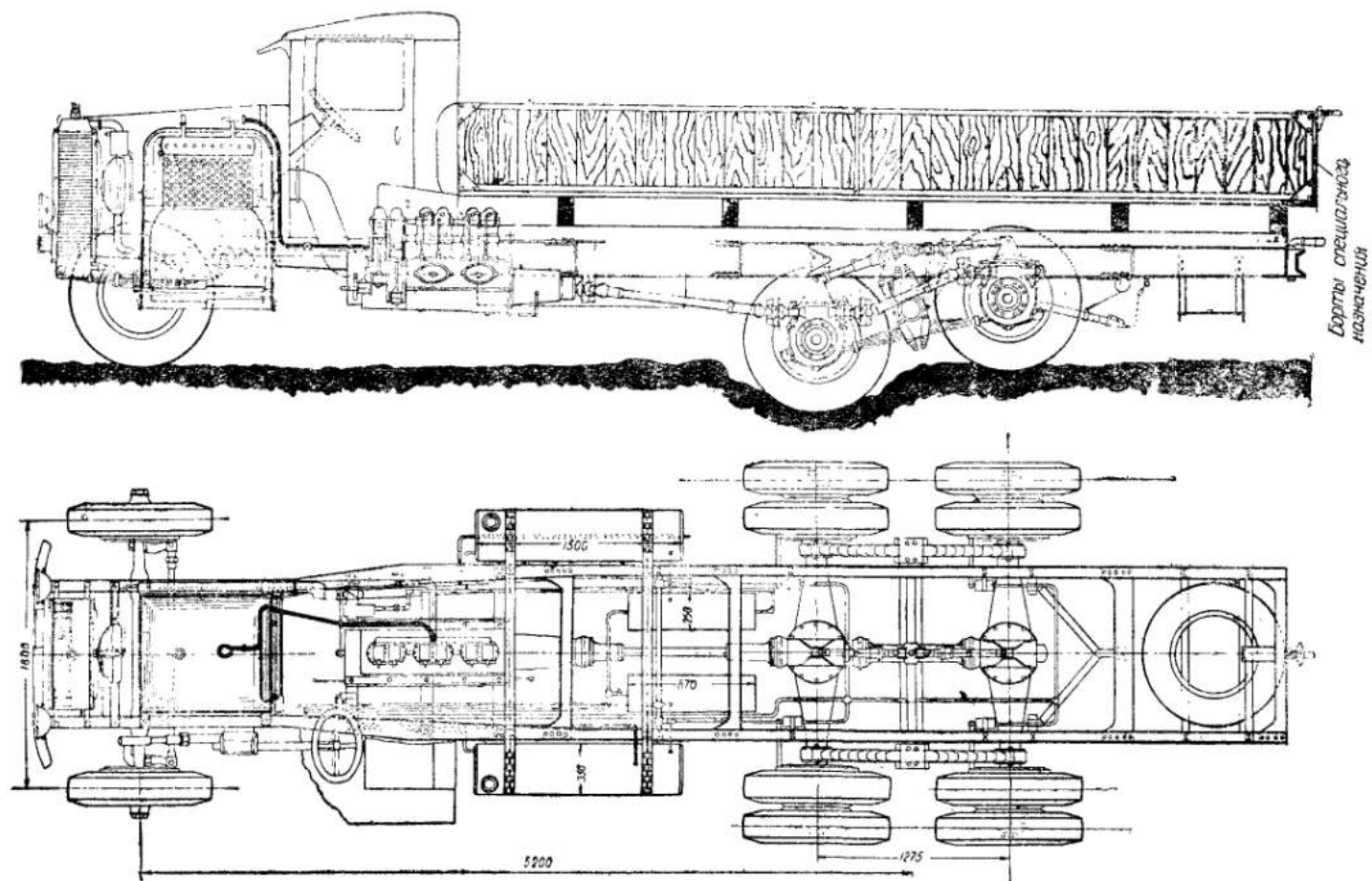
Как можно видеть по чертежам, впереди на раме (вместо радиатора) поставлен холодильник, сзади которого расположен вентилятор, ведомый небольшой паровой турбинкой, работающей мятым паром. Далее между швеллерами рамы расположен паровой котел с топкой, работающей на мазуте, но могущей работать и на дровах. Этот котел был описан нами в главе, посвященной котлам. Паровая 6-цилиндровая машина простого действия с цилиндрами одиночного расширения, также описывавшаяся нами, передает работу к заднему мосту карданом. Задние мосты устроены по типу „Форд-Нами“ и связаны скручивающей штангой.

Паровой котел установлен на амортизаторах; машина подвешена жестко на шести кронштейнах и доступна для осмотра на ходу (через люк в полу кабины).

В кабине имеется щит, на котором расположены: манометры котла, подачи горючего и сжатого воздуха; вольтметр и амперметр; включение фар; включение реостатов для форсирования подачи горючего в топку; вентиль ручного регулирования подачи топлива.

Рулевой штурвал расположен в левой стороне кабины. С правой стороны от руля расположены: рычаг реверсивной муфты сцепления, дроссельная педаль для регулирования подачи пара, педаль воздушного тормоза и рычаг ручного тормоза.

На шасси машины установлен деревянный кузов  $6 \times 2,8 \text{ м}$ ,



Фиг. 153

борты которого выполнены из вертикальных легко снимаемых брусков; эти бруски имеют размер для удобного помещения в топку котла и в случае экстренной надобности могут быть использованы как дрова.

Схема работы паросиловой установки сводится к следующему:

1. Для первого пуска (в гараже) необходимо; ручной помпой накачать воздух в воздушный резервуар и открыть вентиль воздушной магистрали, соединенной с водяным и топливным баками.

2. При этом вода через водораспылители поступает в змеевики, находящиеся в топочном пространстве, а топливо через магнитный вентиль поступает к форсункам, тангенциально расположенным и, таким образом, обеспечивающим вихреобразное движение факела.

3. Образующийся в змеевике пар поступает в коробку, из которой направляется в паропровод, откуда через дроссель идет в паровую машину.

Кроме главного паропровода, имеется два вспомогательных, из коих один через магнитный вентиль и редуктор идет к питательному насосу, а второй — к регулятору давления и температуры перегрева.

4. Отработанный пар с давлением 2 ат поступает в турбо-вентилятор, отработав в котором, направляется через подогреватель в конденсатор. В конденсатор отводится и пар, отработанный в питательном насосе.

Конденсат (темпер.  $59^{\circ}\text{C}$ ) откачивается мокро-воздушным насосом в питательный бак.

5. Вода из питательного бака подается питательным насосом в подогреватель; подогревшись до  $70^{\circ}\text{C}$ , вода поступает через водораспылители в котел.

6. Отработанные газы котла отсасываются эксгаустером, который создает разрежение в топке.

Предварительные размеры, намеченные проектом, таковы:

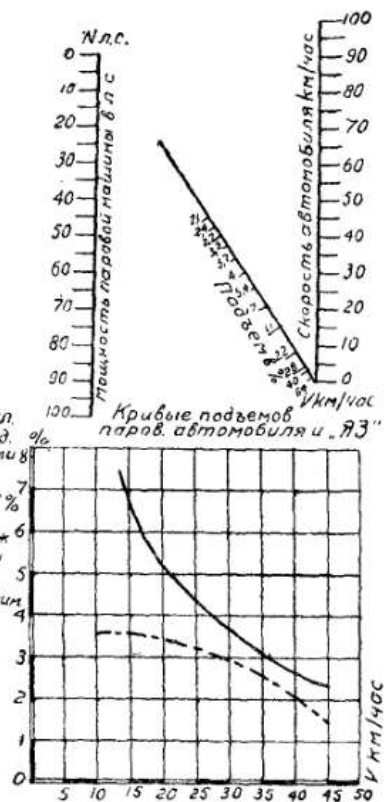
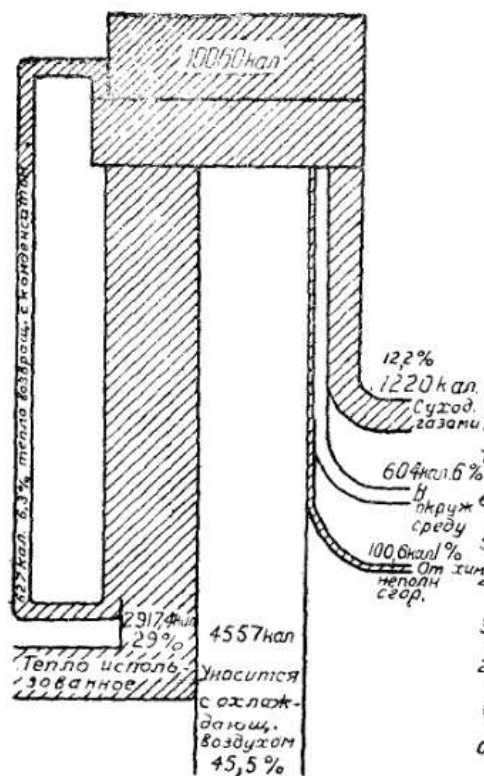
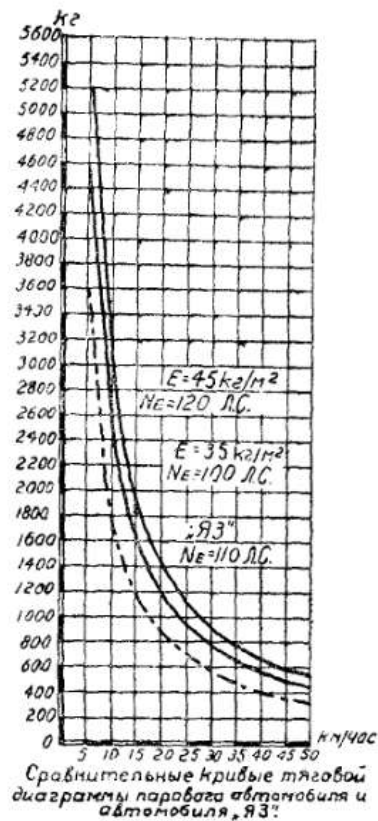
поверхность нагрева котла . . . . .	$H \approx 8 \text{ м}^2$
поверхность охлаждения конденсатора . . . . .	$H_k \approx 12 \text{ м}^2$
мощность паровой машины . . . . .	$N = 100 \text{ л. с.}$
начальное давление пара в котле . . . . .	$p = 100 \text{ ат}$
форсировка котла . . . . .	$E = 35 \div 45 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$

Теоретический вес автомобиля (порожний) определен в 4300 кг.

На фиг. 154 представлены:

- тепловой баланс,
- сравнительные кривые тяги парового грузовика и грузовика „ЯЗ“,
- кривые преодолеваемых подъемов.

Сравнение себестоимостей перевозок моторным 8-тонным и таким же паровым грузовиком, рассчитанных по нормам ЦУМТ при годовом пробеге в 10000 км при 250 рабочих днях в году дает результаты (по основным показателям), показанные ниже в табл. 26 и 27.



Тепловой баланс

Фиг. 154

Таблица 26

## По моторному грузовику

	Расходы в руб.	
	всего	на 1 км
<b>А. Постоянные расходы</b>		
1. Содержание персонала . . . . .	2000	0,200
2. Содержание зданий . . . . .	460	0,046
3. Хозяйственные расходы . . . . .	100	0,010
Итого . . .	2560	0,256
<b>Б. Переменные расходы</b>		
1. Горючее (0,7 кг/км)—бензин . . .	7000	0,700
2. Масло, тавот, керосин . . . . .	700	0,070
3. Обтирочный материал . . . . .	25	0,0025
4. Освещение . . . . .	30	0,003
5. Резина (норма износа—10000 км) .	3500	0,350
6. Ремонт . . . . .	400	0,040
7. Амортизация . . . . .	2000	0,200
8. Непредвиденные и мелкие расходы	100	0,010
Итого . . .	13755	1,370
<b>Всего . . .</b>	<b>16315</b>	<b>1,626</b>

Таблица 27

## По паровому грузовику

	Расходы в руб.	
	всего	на 1 км
<b>А. Постоянные расходы</b>	2550	0,256
<b>Б. Переменные расходы</b>		
1. Мазут (0,65 кг/км) . . . . .	22	0,022
2. Масло, тавот, керосин . . . . .	40	0,004
3. Вода . . . . .	25	0,0025
4. Обтирочный материал . . . . .	25	0,0025
5. Освещение . . . . .	30	0,0030
6. Резина (норма—15000 км) . . . .	2000	0,200
7. Ремонт . . . . .	400	0,004
8. Амортизация . . . . .	2000	0,200
9. Непредвиденные и мелкие расходы	100	0,010
<b>Всего . . .</b>	<b>7202</b>	<b>0,72</b>

Таким образом стоимость перевозок (без учета холостых пробегов) составляет для бензиномоторного 8- тонного грузовика

$$\frac{162,60}{8} = 20,2 \text{ коп/т-км.}$$

Принимая для парового такую же стоимость, амортизацию и ремонт, как и для моторного, имеем при тех же постоянных расходах (руб. 2560 за 10000 км) следующие расходы по перевозке (табл. 27).

Стоимость перевозок при аналогичных условиях работы 8- тонным паровым грузовиком определяется равной

$$\frac{72}{8} = 9 \text{ коп/т-км.}$$

При расчетах приняты цены нефтесиндиката:

тонна бензина . . . . .	900 руб.
тонна мазута . . . . .	34 .

Эта схематическая калькуляция показывает преимущества парового грузовика с экономической стороны.

Сказанного, полагаем, достаточно для целей информации о существующих паровых самоходах и о тех работах над ним, которые наметились в СССР.

Этим и позволяем себе закончить настоящую главу.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ

### ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Если не принимать в расчет инерции вращающихся ходовых колес, то для паровых самоходов всех классов и марок, уравнение движения в общем виде может быть представлено в таком виде:

$$M \cdot \frac{d^2s}{dt^2} = Z - W, \quad (59)$$

где  $M$  — масса всего поезда, состоящего из самохода и прицепов,

$Z$  — сила, движущая поезд,

$W$  — сила сопротивления поезда,

$\frac{d^2s}{dt^2}$  — ускорение поезда.

При равномерном, установившемся движении поезда

$$\frac{d^2s}{dt^2} = 0 \quad (60)$$

и, следовательно, для этого случая имеет место условие:

$$Z = W, \quad (61)$$

т. е. сила тяги равна сопротивлению поезда на данном пути при данных условиях и обстоятельствах движения.

Это условие при движении самохода по дороге непрерывно нарушается, поскольку непрерывно изменяется величина сопротивления —  $W$ , главным образом, зависящего от рода дороги и ее продольного профиля.

Задача силового агрегата — парового котла (генератора) и машины (парового мотора) — состоит в том, чтобы во время движения непрерывно удерживать равенство

$$Z = W$$

и притом так, чтобы  $Z$  легко изменялось, приспособляясь к изменениям  $W$ .

Такая приспособляемость двигателя в более или менее широких пределах обеспечивается свойствами двигателя, выбираемого для тяги.

## СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО МОТОРА

Поскольку источником сил, обеспечивающих движение автомобиля в данных дорожных условиях, является двигатель внутреннего сгорания, развивающий при данной мощности  $N_e$  и числе  $n$  об/мин, нужный для тяги крутящий момент  $M_{кр}$  на ведущих колесах автомобиля, величинами, характеризующими внешнюю работу двигателя, являются:

$M_{кр}$  — крутящий (вращающий) момент на валу двигателя в кгм или кг·см,

$n$  — число оборотов в минуту коленчатого вала двигателя,

$N_e$  — эффективная мощность двигателя на его валу в л. с.

Между этими величинами существует известное соотношение

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{716,2}. \quad (62)$$

Для данного мотора величины  $N_e$  и  $M_{кр}$  являются (при данной регулировке карбюратора) функциями числа оборотов и степени открытия дроссельного клапана.

У этих двигателей, как известно, тяга постоянна за оборот, а мощность растет пропорционально числу оборотов вала.

Именно это обстоятельство и заставляет прибегать к применению коробок скоростей в трансмиссии между валом двигателя и ведущими колесами; роль этих коробок, в конце концов, сводится к тому, чтобы менять крутящий момент на оси ведущего колеса, ибо сам двигатель при прямом соединении с колесом в трудные периоды работы (подъем, трогание с места) не может обеспечить нужный момент, вследствие малого числа оборотов вала.

Если первый из указанных выше факторов (степень открытия дросселя) совершенно произволен и не находится в прямой и притом определенной зависимости от скорости движения автомобиля<sup>1)</sup>, то между вторым фактором (числом оборотов вала) и скоростью движения автомобиля существует вполне определенная зависимость, так как соотношение между ними устанавливается передаточными соотношениями коробки скоростей и меняется при переключении шестерен коробки.

Каждый двигатель имеет свою, так называемую, *внешнюю характеристику*, которая представляет собою эффективную мощность двигателя, соответствующую полному открытию дросселя, представленную как функция числа оборотов коленчатого вала; эта характеристика, как известно, всегда связана с крутящим моментом уравнением, приведенным нами выше. Характеристика, как известно, имеет свой максимум, который имеет место при числах оборотов вала, различных для двигателей легковых и грузовых автомобилей.

Большинство современных автомобилей имеет двигатель, у

<sup>1)</sup> Чудаков Е. А. проф. Курс устройства автомобиля (шасси), стр. 23, Москва, 1931.

которого максимум характеристики и крутящего момента предполагается следующим образом (табл. 28)

Таблица 28

	М а к с и м у м	
	Характеристики	Крутящего момента
Двигатели легковых автомобилей об/мин. . . . .	3200 ÷ 2800	1500 ÷ 1200
Двигатели грузовых автомобилей об/мин. . . . .	1850 ÷ 1400	500 ÷ 350

Чтобы определить соотношение между числом оборотов вала двигателя и скоростью движения, введем следующие обозначения:

$v_a$  — скорость движения автомобиля, м/сек;

$r'_k$  — радиус ведущего колеса автомобиля с учетом деформации шин;

$n_k$  — число об/мин. ведущего колеса автомобиля;

$n$  — число об/мин. коленчатого вала двигателя;

$i_1, i_2, i_3 \dots$  — передаточные числа шестерен коробки скоростей;

$i_k$  — вообще некоторое передаточное число, устанавливаемое коробкой скорости;

$i_3$  — передаточное отношение в конечной передаче (задний мост); величина  $i_3$  показывает нам, во сколько раз коленчатый вал двигателя на последней передаче вращается быстрее ведущих колес при отсутствии боксования последних.

При отсутствии боксования ведущих колес между  $n$  и  $n_k$  можно установить следующую связь:

$$n_k = \frac{n}{i_3 \cdot i_k}. \quad (63)$$

Точно такое же соотношение имеет место для соответствующих угловых скоростей  $\omega_k$  и  $\omega$ .

Так как скорость  $v_a$  автомобиля может быть выражена условием

$$v_a = \frac{2\pi \cdot r'_k \cdot n_k}{60} \text{ м/сек}, \quad (64)$$

то, подставляя в эту формулу значение  $n_k$  из предыдущей формулы, легко найти, что:

$$v_a = \left( \frac{2\pi \cdot r'_k}{60 \cdot i_3} \right) \cdot \frac{n}{i_k} = A \cdot \frac{n}{i_k}. \quad (65)$$

Величина  $A$  — постоянна для данного автомобиля при всех передачах; величина  $i_k$  — постоянна при работе на одной, данной, передаче.

При учете боксования ведущих колес будем, очевидно, иметь с поправкой на боксование:

$$v_a = \sigma \cdot A \cdot \frac{n}{i_k}, \quad (66)$$

где поправка  $\sigma < 1$ .

В условиях действительной работы автомобиля число  $n$  об/мин. переменнo и зависит от скорости хода; максимум для  $n$  достигается при максимуме скорости хода.

*Примечание.* Превышение  $n_{\text{макс}}$  возможно при открытом газе и холостом ходе с выключенной передачей коробки скоростей, либо при ходе под уклон.

*Максимальное устойчивое* число оборотов  $n$  определяется уравниженностью двигателя (числом цилиндров, размерами маховика и др.) и регулировкой карбюратора; это число редко спускается ниже  $n \approx 450$  об/мин.

Наличие в трансмиссии коробки скоростей, т. е. отношения  $i_n$ , дает всегда при трогании с места *рывок* и всегда *ступенчатое* изменение скоростей хода в зависимости от  $i_1, i_2, i_3, \dots$  таковы в общем особенности автомобильного двигателя внутреннего сгорания<sup>1)</sup>.

## СВОЙСТВА ПАРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Само собою разумеется, что для парового двигателя самохода остается в силе основное соотношение:

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{716,2}, \quad (67)$$

или

$$M_{\text{кр}} = 716,2 \cdot \frac{N_e}{n}. \quad (68)$$

Вводя в последнее уравнение вместо  $N_e$  индикаторную мощность  $N_i$  и механический к. п. д.  $\eta$  машины, будем иметь:

$$M_{\text{кр}} = \eta \cdot 716,2 \cdot \frac{N_i}{n}. \quad (69)$$

Как показывает опыт, индикаторная мощность паровой машины *зависит в некоторой мере* от  $n$  об/мин. вала.

Введем обозначения:

$H$  — поверхность нагрева парового котла в  $\text{м}^2$ ,

$E$  — интенсивность парообразования в  $\text{кг}/\text{м}^2$ ,

$q$  — расход пара на одну лошадиную силу индикаторной мощности  $\text{кг}/\text{час}$ .

<sup>1)</sup> За большими подробностями, а также за сведениями о тихоходных двигателях для грузовиков отсылаем к специальной литературе, ибо это не составляет предмета настоящей работы.

При этих обозначениях возможно записать очевидное равенство:

$$N_i = \frac{E \cdot H}{q}. \quad (70)$$

Опыт показывает, что  $E$  и  $q$  в известной мере зависят от  $n$  и возрастают с ростом  $n$ .

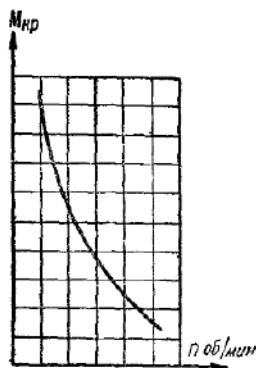
Величина интенсивности  $E$  парообразования зависит от конструкции котла, способа тяги, свойств топлива, опытности кочегара, скорости вращения вала машины, расходующей пар, и др. обстоятельств.

Величина  $q$  расхода пара зависит от конструкции цилиндра машины, величины отсечки впуска, степени дросселирования, степени расширения пара и скорости вращения вала.

Опыт показывает, что у паровой машины нет резкого изменения  $N_i$  с изменением  $n$  об/мин.

Если представить на диаграмме (фиг. 155) кривую  $(M_{кр}, n)$ , то эта кривая для парового двигателя, для которого

$$M_{кр} = \eta \cdot 716,2 \cdot \frac{N_i}{n} \quad (71)$$



Фиг. 155

имеет *гиперболический характер*.

Если бы не было некоторой зависимости  $N_i$  от  $n$ , то кривая  $(M_{кр}, n)$  была бы точной гиперболой.

Так как у парового самохода числа оборотов  $n$  вала и ведущего колеса  $u$  между собою связаны, а интенсивность парообразования котла, работающего тягой от конуса, меняется с числом выхлопов, т. е. зависит от  $u$  и  $n$ , то последние величины несколько влияют на  $N_i$ , или, что одно и то же, на  $N_e$ , о чем мы говорили, рассматривая котлы при обсуждении вопроса о функции

$$\frac{N_e}{H} = f(u),$$

с точки зрения Borris'a, Lotter'a, Richter'a и других паровозников.

Эти обстоятельства сказываются и на отклонениях кривой  $(M_{кр}, n)$  от вида чистой гиперболы.

Из диаграммы  $(M_{кр}, n)$  сразу же видно, что при паровой машине увеличение нагрузки, вызывающее падение чисел  $n$  оборотов вала, немедленно вызывает *возрастание*  $M_{кр}$ , а уменьшение нагрузки, вызывающее рост  $n$  об/мин., — падение  $M_{кр}$ .

Таким образом здесь при данной отсечке пара имеет место зависимость

$$M_{кр} = f(n) \quad (72)$$

и притом такая, что чем меньше  $n$  об/мин., тем больше момент  $M_{кр}$ . Эта замечательная особенность паровой машины делает ее незаменимой для тяги, ибо при трогании с места (когда  $n_k \leq 0$ ) и на подъемах (когда  $n_k$  — мало) машина может обеспечить  $(M_{кр})_{\max}$ , достаточный для преодоления сопротивлений движению в эти тяжелые моменты.

Чрезвычайно важно отметить, что возрастание  $M_{кр}$  при падении числа  $n$  об/мин. вала осуществляется у паровой машины при сравнительно ничтожных изменениях индикаторной мощности  $N_i$ ; иными словами: *увеличение вращающего момента здесь происходит не за счет увеличения мощности, а за счет падения скорости.*

Это обстоятельство, вместе с тем, что паровая машина при трогании с места обеспечивает — без всяких промежуточных устройств (в виде коробок скоростей и специальных передач) — большой вращающий момент почти при нулевом числе оборотов вала, делает паровую машину превосходным тяговым двигателем.

## СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ И ГРАФИК СОПРОТИВЛЕНИЙ

При движении по дороге всякой механической повозки последней приходится преодолевать ряд сопротивлений, часть которых постоянна, а часть — переменна. Так как, в конце концов, преодоление всех видов сопротивлений падает на двигатель, то сопротивления должны быть надлежаще учтены.

В самом общем случае полное сопротивление движению поезда составляется из суммы частных сопротивлений  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_i$ , каковы, напр.: сопротивление самой механической повозки как машины, сопротивление колес перекатыванию по данной дороге, сопротивление от подъема и кривой, сопротивление от движения в упругой среде и ряд других. Таким образом полное сопротивление  $W$  может быть представлено в виде:

$$W = \sum w_i. \quad (73)$$

Так как часть сопротивлений для данного самохода постоянна, ибо зависит от конструкции самохода и сопротивления местности; часть зависит от скорости движения и может быть выражена линейной зависимостью от скорости, как, напр., боковое давление ветра; часть пропорциональна квадрату скорости движения (удары, лобовое сопротивление от движения в упругой среде и т. п.), то *сопротивление на прямом, горизонтальном участке* может быть представлено в виде:

$$W_0 = A + Bv + Cv^2, \quad (74)$$

где  $A, B$  и  $C$  — некоторые опытные коэффициенты.

При движении по подъему, сопряженному с кривой в задав-

ных температурных условиях (лето, зима), сопротивление может быть выражено принципиально в виде:

$$W = A + Bv + Cv^2 + W_i + W_k \pm W_t \quad (75)$$

где:  $W_i$  — сопротивление от подъема,

$W_k$  — сопротивление от кривой радиуса,

$W_t$  — сопротивление от температуры (главным образом зимой, когда замерзает смазка).

Обычно вычисляют сопротивление на тонну поезда, движущегося по дороге, и тогда, зная это *удельное сопротивление*  $w$  и вес  $Q$  поезда в тоннах, можно записать:

$$W = w \cdot Q. \quad (76)$$

По существу, сопротивления, относящиеся к самому самоходу, отличаются от сопротивлений пассивных прицепов и потому при весе  $G_c$  самого самохода и весе  $G_n$  одной прицепки для поезда с числом однородных прицепов  $m$  полное сопротивление должно быть записано, как

$$W = w_c \cdot G_c + m \cdot w_n \cdot G_n, \quad (77)$$

где:

$w_c$  и  $w_n$  — удельные сопротивления для самохода и для прицепки.

Так как на практике, вследствие малости  $W_i$ , обычно пренебрегают этим сопротивлением; так как  $W_k$  от кривой может быть выражено сопротивление от эквивалентного подъема, то общий вид уравнения, выражающего сопротивление поезда, может быть написано, как

$$W = W_0 \pm W_i, \quad (78)$$

где:

$W_0$  — сопротивление на прямой горизонтали,  
 $\pm W_i$  — сопротивление от подъема с учетом кривой; при движении под уклон величина  $W_i$  должна быть взята со знаком минус.

В конце концов, решающими компонентами оказываются: сопротивление дороги, сопротивление от подъема и сопротивление (лобовое) от движения в упругой среде. Эти сопротивления для их преодоления требуют и определенных компонентов мощности двигателя.

а) *Сопротивление местности* или дороги может быть определяемо следующим образом.

Если  $G$  кг — вес самохода, а  $f$  — коэффициент сопротивления местности или дороги, то сила (горизонтальная), потребная для преодоления трения качения груза  $G$  кг, определится как  $Gf$  и, разумеется, мощность, потребная для преодоления сопротивления этого рода при скорости самохода  $v$  м/сек, составит

$$N_f = f \cdot G \cdot v. \quad (79)$$

Коэффициент  $f$  зависит от материала и состояния дороги и от эластичности шин.

Для хорошего шоссе, согласно данным проф. Е. А. Чудакова:

$f = 0,020$  — при нормальных пневматиках,

$f = 0,014$  — шинах „Корд“,

$f = 0,020$  — „балонных шинах „Корд“,

$f = 0,023$  — „грузошинах“.

Чем хуже дорога, тем выше  $f$ ; оно особенно велико для мягких грунтовых дорог, на которых эластичность шин уже не имеет значения, ибо сопротивление определяется, главным образом, погружением колеса в грунт, которое тем больше, чем меньше удельная нагрузка (на пог. см ширины колеса), которую может выдерживать дорога.

β) *Лобовое сопротивление воздушной среды* может быть определено выражением типа:

$$W_{\text{в}} = \beta \cdot F \cdot v^2, \quad (80)$$

где:

$F \text{ м}^2$  — проекция тела, движущегося в упругой среде, на плоскость, перпендикулярную к направлению движения;

$\beta$  — коэффициент обтекаемости формы, который может быть принят для современных форм автомобилей в среднем 0,055 — для легковых и 0,065 — для грузовых машин,  $v$  м/сек — скорость движения.

При этом мощность  $N_{\text{в}}$ , необходимая на преодоление этого сопротивления выразится как

$$N_{\text{в}} = W_{\text{в}} \cdot v = \beta \cdot F \cdot v^3. \quad (81)$$

*Примечание.* Боковым давлением ветра и так называемой „вентиляцией колес“ (сопротивление колеса вращению) чаще всего пренебрегают, так как они сравнительно  $W_{\text{в}}$  малы.

γ) *Сопротивление от подъема* и мощность, затрачиваемая на преодоление подъема при движении со скоростью  $v$  м/сек, могут быть определены следующим образом.

Если скорость поступательного движения разложить на составляющие скорости: вертикальную  $v_{\text{в}}$  и горизонтальную  $v_{\text{г}}$ , то при угле подъема дороги будем иметь

$$v_{\text{в}} = v \cdot \sin \alpha. \quad (82)$$

Мощность  $N_{\text{г}}$ , расходуемую на преодоление подъема, можно выразить, как произведение из веса самохода (поезда) на скорость вертикального перемещения, — иначе

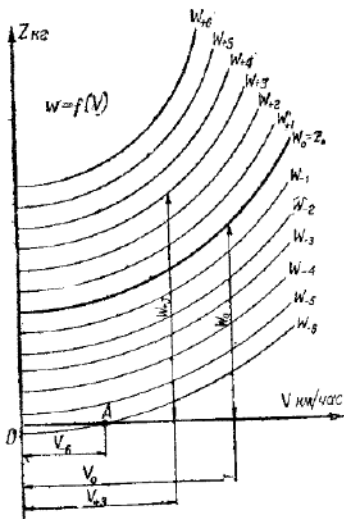
$$N_{\text{г}} = G \cdot v_{\text{в}} = G \cdot v \sin \alpha. \quad (83)$$

Таким образом, как можно понять из сказанного, и мощности, и сопротивления являются функцией скорости.

Если, следовательно,  $W = f(v)$ , а, с другой стороны,  $Z = W$ , то легко для каждой данной дороги, характеризующей сопротивлением  $f$ , построить график сопротивлений в виде пучка кривых

( $Z, V$ ), в котором:  $W_0 = Z_0$  является сопротивлением на прямой горизонтали;  $W_{+1}, W_{+2}, \dots$  являются сопротивлениями на подъемах, взятых через  $1\%$ ;  $W_{-1}, W_{-2}, \dots$  являются сопротивлениями на уклонах, взятых через  $1\%$ .

Такой пучок кривых, представляющих собою график сопротивлений при движении на данной дороге с коэффициентом  $f$ , изображен на фиг. 156.



Фиг. 156

График сопротивлений позволяет определить зависимость сопротивления от скорости движения самохода по данной дороге  $f$  и, наоборот, определить возможную скорость при данном сопротивлении.

Так, напр., при скорости  $v_0$  сопротивление составит  $w_0$ ; при скорости  $v_{+3}$  на подъеме  $i = 3\%$  самоход испытывает сопротивление  $w_{+3}$  и т. д.; может случиться, что при движении по уклону, напр.,  $i = -6\%$ , со скоростью  $v_{-6}$ , сопротивление окажется  $w_{-6} = 0$  (кривая  $w_{-6}$  пересекает ось абсцисс в точке А); тогда, очевидно, самоход (или поезд) может двигаться по такому уклону с установившейся скоростью при закрытом паре; при  $w$  отрицательном по величине, очевидно, требуется применение тормозов.

Построив графики сопротивлений для разных дорог (шоссе, проселок, асфальтовая дорога и др.), всегда возможно находить по ним сопротивления поезда  $W$ , а следовательно и необходимую для движения со скоростью  $v$  силу тяги  $Z$  на данном профиле дороги.

Дальнейшие расчеты сводятся к нахождению силы тяги, которая может быть обеспечена размерами парового котла и паровой машины.

Таким образом для парового самохода могут существовать три силы тяги или три ограничения.

а) Сила тяги по сцеплению, зависящая от веса, приходящегося на активные (ведущие) колеса или иные ходовые приспособления (гусеницы).

б) Сила тяги по машине, зависящая от мощности, развиваемой машиной данной конструкции.

в) Сила тяги по котлу, зависящая от паропроизводительности котла на данном топливе и при данной форсировке котла.

Кривая каждой из этих трех сил тяги различна по характеру.

Ниже даем объяснения по вопросам, касающимся ограничений тяги по сцеплению, по машинам и по котлу и по кривым этих ограничений.

## КРИВАЯ СЦЕПНОЙ СИЛЫ ТЯГИ

Сцепной силой тяги, или силой тяги по сцеплению, мы называем максимальную силу тяги, определенную по весу, приходящемуся на ведущие колеса самохода при данном коэффициенте  $f$  сцепления.

Связь сцепной силы тяги  $Z_{\text{макс}}$  с сопротивлением самохода с прицепами  $W$  выражается аналитически зависимостью:

$$Z_{\text{макс}} \leq \varphi G_{\text{сц}}, \quad (84)$$

где:

$G_{\text{сц}}$  — вес, приходящийся на ведущие колеса самохода, а в случае наличия в поезде прицепов с активными осями — вес, приходящийся на все активные оси поезда.

$\varphi$  — коэффициент сцепления с дорогой.

Напомним, что при работе машин самохода давление пара на поршни машин создает силу, которая по отношению к самоходу является силой *внутренней*, т. е. неспособной вызвать поступательное движение, в чем легко убедиться, подняв самоход с работающими машинами; в этом случае колеса будут вращаться, поступательного же движения не последует.

Картина немедленно изменится, если самоход будет поставлен колесами на дорогу; в этом случае возникает сцепление колес с дорогой и появляется сила сцепления, зависящая от  $\varphi$  и  $G_{\text{сц}}$ , которая является уже силой движущей, вследствие чего колеса и получают поступательное движение.

Сила сцепления колес с дорогой не является постоянной даже для одной и той же дороги, а зависит от состояния поверхности дороги (сухая, мокрая, покрытая снегом и т. п.) и колеса (железный обод, резина и т. п.) и от давления колеса на дорогу.

Величина коэффициента  $\varphi$  также в некоторых пределах переменна, причем нередко  $\varphi$  меняется даже за период одного оборота колеса.

Сила паровых машин за один оборот вала меняется и, напр., при сдвоенных машинах одиночного расширения сила тяги за один оборот меняется, достигая некоторого максимума, примерно, равного 1,24 от средней силы тяги, развиваемой цилиндрами.

Так как между силой тяги по сцеплению и силой тяги, развиваемой машиной, имеется тесная связь, то  $\varphi$  нельзя считать равным коэффициенту  $\mu$  трения.

Для всех случаев, пока сила тяги по машинам не достигла своего максимума,  $\varphi < \mu$ ; при максимуме же  $\varphi = \mu$ .

Так как поступательное движение самохода должно иметь место и при максимуме силы тяги, то должно иметь место для этого случая и условие:

$$Z_{\text{макс}} = \varphi \cdot G_{\text{сц}} = \mu \cdot G_{\text{сц}}. \quad (85)$$

Для всех прочих случаев, когда

$$Z \neq Z_{\max},$$

имеет место и условие:

$$\varphi \neq \mu.$$

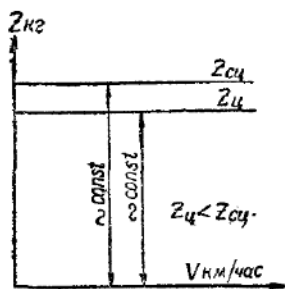
Так как самоход при весе  $G_{\text{сц}}$ , приходящемся на ведущие колеса, и при коэффициенте  $\varphi$  для данной дороги не может обеспечить сцепную силу тяги большую, чем

$$Z_{\max} = \varphi \cdot G_{\text{сц}} = \text{const},$$

то, очевидно, что графически сцепная сила тяги выразится на диаграмме ( $Z, v$ ) прямой  $Z_{\text{сц}}$ , параллельной оси абсцисс (фиг. 157).

По существу, это не совсем верно, так как фактически  $\varphi$  несколько падает с ростом скорости  $v$  и потому прямая  $Z_{\text{сц}}$  должна быть слабо наклонной с уклоном от оси ординат.

Силу тяги, большую чем  $Z_{\text{сц}}$ , самоход развить без боксования не может.



Фиг. 157

## КРИВАЯ СИЛЫ ТЯГИ ПО ЦИЛИНДРАМ

Сила тяги по цилиндрам машины, или *цилиндровая сила тяги* — это та сила, которую возможно получить при данных размерах цилиндров паровой машины.

Между работой сцепной силы тяги и цилиндровой силой тяги, т. е. и между этими силами, существует определенная зависимость.

Выше было указано, что если между дорогой и колесами отсутствует сцепление, то происходит *боксование*, при котором колеса самохода вращаются, не сообщая последнему поступательного движения.

Боксование имеет место всегда, как только сила  $Z_{\text{сц}}$ , зависящая от давления пара на поршни машин, не отвечает условию

$$Z_{\text{ц}} \leq \varphi \cdot G_{\text{сц}} \text{ или } Z_{\text{ц}} \leq Z_{\text{сц}}.$$

Давление пара на поршни машин является величиной переменной, зависящей от степени открытия паровпускного вентиля и величины отсечки впуска; среднее давление всегда больше, когда машина совершает большую работу.

Таким образом, поскольку машине самохода приходится преодолевать сопротивление последвего (и прицепок) движению при данных дорожных условиях, — надо принять, что *среднее давление пара на поршни машины является некоторой функцией сопротивления самохода (и прицепок) движению.*

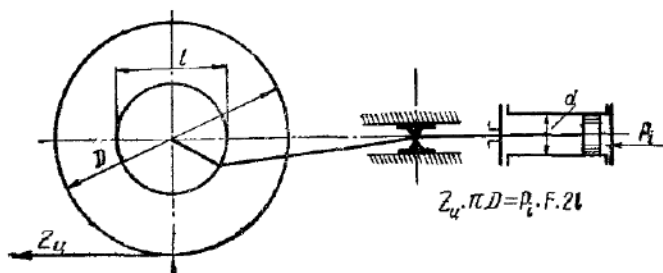
Следовательно, и цилиндровая сила тяги, как зависящая от среднего давления пара на поршни при отнесении ее к ободу ведущего колеса, является функцией от сопротивления движению самохода (и прицепок).

Эта сила на ободу, зависящая от давления пара на поршни машины, вызывает равную ей по величине силу, которая и называется силой тяги самохода.

Таким образом, силой тяги самохода называется часть силы сцепления ведущих колес с дорогой, равная по величине усилию, вращающему колесо, отнесенному к окружности качения и зависящему от действия пара на поршни машины.

Аналитически определить  $Z_{\text{ц}}$  можно следующим путем.

Пусть имеем прямое соединение поршня с колесом (фиг. 158).



Фиг. 158

Обозначим:

$Z_{\text{ц}}$  — цилиндровую силу тяги, отнесенную к окружности качения ведущего колеса,

$D_{\text{к}}$  — диаметр ведущего колеса по кругу качения,

$i$  — число паровых цилиндров двойного действия,

$d$  — диаметр парового цилиндра,

$l$  — ход поршня,

$F$  — площадь поршня,

$p_i$  — среднее индикаторное давление пара на поршни.

Работа сил за один оборот ведущего колеса, очевидно, может быть представлена уравнением:

$$i \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot p_i = Z_{\text{ц}} \cdot \pi D_{\text{к}}$$

или

$$i \cdot F \cdot 2l \cdot p_i = Z_{\text{ц}} \cdot \pi D_{\text{к}}$$

Отсюда:

$$Z_{\text{ц}} = i \cdot p_i \cdot \frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l}{\pi D_{\text{к}}} = i \cdot p_i \cdot \frac{d^2 \cdot l}{2D_{\text{к}}} \quad (86)$$

Если самоход имеет двухцилиндровую сдвоенную машину, непосредственно работающую на ось ведущих колес при передаче 1:1, то, очевидно, что при  $i=2$  будем иметь

$$Z_{\text{ц}} = p_i \cdot \frac{d^2}{D} \cdot l. \quad (87)$$

Иначе, сила тяги прямо пропорциональна индикаторному давлению, диаметру цилиндра и ходу поршня и обратно пропорциональна диаметру ведущего колеса.

Вводя коэффициент  $\varepsilon$ , устанавливающий связь  $p_i$  с давлением  $p_k$  в паровом котле, имеем:

$$p_i = \varepsilon \cdot p_k$$

и

$$Z_{\text{ц}} = \varepsilon \cdot p_k \cdot l \cdot \frac{d^2}{D} = A \cdot \frac{d^2}{D}. \quad (88)$$

Во всех случаях, когда между поршнем и ведущим колесом вставлена передача с отношением  $k \neq 1$ , будем иметь:

$$Z_{\text{ц}} = A \cdot k \cdot \frac{d^2}{D}. \quad (89)$$

Совершенно очевидно, что, поскольку  $Z_{\text{ц}}$  не зависит от  $v$ , а является функцией размеров цилиндра машины и системы последнего,  $(Z_{\text{ц}})_{\text{макс}}$  может быть представлена графически в координатах  $(Z, v)$  как прямая, параллельная оси абсцисс, что и изображено на фиг. 157.

В силу условия, необходимого для устранения боксования, т.е. в силу условия

$$(Z_{\text{ц}})_{\text{макс}} \leq (Z_{\text{сц}})_{\text{макс}} \quad (98)$$

прямая цилиндровой силы тяги расположена ниже прямой сцепной силы тяги.

*Большую силу тяги чем  $(Z_{\text{ц}})_{\text{макс}}$  самоход не может развить по размерам своих цилиндров.*

## КРИВАЯ КОТЛОВОЙ СИЛЫ ТЯГИ

Нами уже указывалось, что с увеличением скорости движения самохода паропроизводительность парового котла до известного предела возрастает; другими словами, до известного предела скорости работа машины обеспечивается потребным количеством пара, которое может доставить котел при данных условиях и форсировке; в конце концов может наступить момент, когда при данной работе машины пара не хватит, т.е. момент, когда котел начинает ограничивать работу машин, а следовательно, и тягу.

Полезная работа самохода может быть выражена формулой:

$$N_e = \frac{W \cdot V}{270} = \frac{Z_k \cdot V}{270} \text{ л. с.}, \quad (91)$$

где:

$W$  — преодолеваемое сопротивление движению в кг,

$V$  — скорость движения в км/час,

$Z_k$  — та сила тяги, которую может обеспечить самоходу паровой котел.

Если в этой формуле величину  $N_e$  заменить равной ей величиной

$$H \cdot \frac{N_e}{H},$$

где  $H$  — поверхность нагрева в м<sup>2</sup>, то предыдущее выражение может быть представлено в виде:

$$H \cdot \frac{N_e}{H} = Z_k \cdot \frac{V}{270}.$$

Отсюда:

$$Z_k = \frac{270 \cdot H \cdot \frac{N_e}{H}}{V}. \quad (92)$$

Это и есть выражение *котловой силы тяги*.

Так как в этом выражении  $H$  есть абсолютная величина поверхности нагрева котла, а  $N_e/H$  — паропроизводительность последней, то выражение определяет силу тяги, развиваемую самоходом в зависимости от размеров котла ( $H$ ) и количества лошадиных сил ( $N_e$ ), снимаемых с кв. метра поверхности нагрева ( $N_e/H$ ).

Величина  $\frac{N_e}{H}$  растет сравнительно с ростом скорости  $V$  медленно; поэтому вся правая часть равенства, определяющего величину  $Z_k$ , является убывающей с ростом  $V$ .

Таким образом по достижении самоходом некоторой скорости  $V$  размеры котла начинают ограничивать ту силу тяги, которую самоход мог бы развить при этой скорости по размерам машины или по сцеплению.

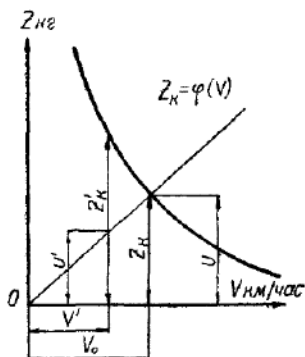
Сила тяги, рассчитанная по размерам котла, главным образом, и ограничивает работу самохода.

*Примечание.* Кстати сказать, мы полагаем, что было бы несколько более удобным относить паросъем не к поверхности  $H$  нагрева котла, а к площади  $R$  колоспиковой решетки, либо к объему  $Q$  топки. Это дало бы более четкие значения и возможно более характерные показатели.

Силу тяги, большую чем  $Z_k$ , самоход при данной скорости на данной дороге развить по размерам своего котла не может.

Графически  $Z_k$  представляется кривой, ниспадающей с ростом скорости (фиг. 159).

Если принять для самоходов для функции  $\frac{N}{H} = f(u)$  значения, которые дает Рихтер и которые приведены нами выше в главе, посвященной котлам, или иные, то  $Z_k$  легко находить следующим образом.



Фиг. 159

Для скорости  $V_0$  отыскиваем число оборотов  $n_0$  ведущего колеса и принимаем  $n_0$  за ординату (в масштабе) одной из точек кривой  $Z_k$ ; проводим наклонную линию  $OA$ , которая и является кривой числа оборотов  $n$  в секунду при данной (прямой) передаче.

При всяком другом числе оборотов  $n'$  об/сек легко находим и скорость  $V'$  км/час и отвечающую ей котловую силу тяги  $Z'_k$ . Построение показано на фиг. 159.

### ОБЩАЯ ДИАГРАММА СОПРОТИВЛЕНИЙ И СИЛ ТЯГИ

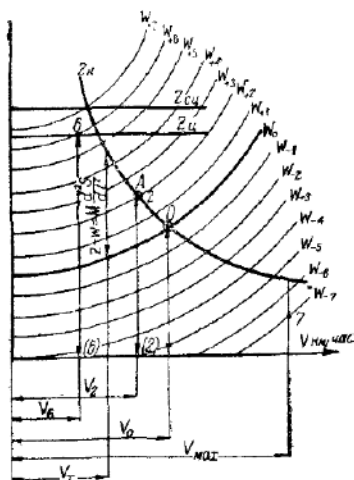
Общая диаграмма сопротивлений и сил тяги получится, если нанести в одинаковом масштабе на одну сетку ( $Z, V$ ) все сопротивления  $w$  для профилей данной дороги  $f$  и кривые  $Z_{сц}$ ,  $Z_{ц}$  и  $Z_k$ .

Тогда получится диаграмма, позволяющая определить для каждого заданного профиля данной дороги ту предельную скорость, которую может развить данный самоход с грузом или прицепами данного веса, двигаясь с установившейся скоростью.

Такая общая диаграмма представлена на фиг. 160.

Кривые  $Z_{сц}$ ,  $Z_{ц}$ ,  $Z_k$  дают с кривыми  $w_0 \dots w_7$  ряд точек пересечений (0, 1, 2, 3...), которые и являются характерными для определения скоростей (предельных) движения данного самохода на прямой передаче.

Так, напр., желая узнать возможную скорость на 2<sup>ой</sup> подъема данной дороги (сопротивление  $w_{+2}$ ) видим, что характерной является точка 2 пересечения кривых  $w_{+2}$  и  $Z_k$ ; в этой точке ордината (2) — 2 определяет необходимую силу тяги, скорость же при последней определяется абсциссой  $V_2$ . Оказывается, что хотя самоход по сцеплению ( $Z_{сц}$ ) и по размерам машины ( $Z_{ц}$ ) мог бы дать тягу  $Z_{сц}$  и  $Z_{ц}$ , достаточную для движения со скоростью  $V_2$ , но котел не может



Фиг. 160

обеспечить тягу, большую чем  $Z_k$ , которая определяется ординатой (2)—2.

Для подъема  $6^0/_{00}$  характерной точкой является точка 6 пересечения кривой  $w_{+6}$  сопротивления и  $Z_u$ ; здесь имеет место ограничение по размерам машины, которое и определяет предельную для  $6^0/_{00}$  подъема скорость  $V_6$  на данной дороге.

В данном случае котел мог бы дать достаточное количество пара для развития силы тяги большей, чем та, которую определяет величина ординаты (6)—6, и обеспечить скорость большую, чем  $V_6$ , но этому препятствуют размеры машины, которые и удерживают скорость на пределе  $V_6$ .

Для уклона  $-7^0/_{00}$  характерна точка 7 пересечения кривой сопротивления с вертикалью предельной скорости  $V_{\max}$ ; последнюю необходимо будет поддерживать, уменьшая отсечку впуска, несмотря на то, что и котел, и машина, и сцепление не ограничивают следования с большей, чем  $V_{\max}$ , скоростью.

Если бы наш самоход (с прицепками) двигался по прямой горизонтали с некоторой скоростью  $V_x$ , то мы имели бы возможность, увеличив отсечку, вызвать ускорение

$$M \cdot \frac{d^2s}{dt^2}$$

и довести скорость до  $V$ , определяемой пересечением кривых  $Z_k$  и  $w_0$ .

Таким образом диаграмма дает возможность находить также как положительные, так и отрицательные ускорения движения для всех случаев, возможных на данной дороге, и интегрировать уравнение движения самохода, которое в общем виде имеет выражение

$$Z - W = M \cdot \frac{d^2s}{dt^2}. \quad (93)$$

## РАБОЧИЙ БАЛАНС ПАРОВОГО САМОХОДА

Мощность паровых машин самохода расходуется на покрытие ряда сопротивлений, представление о природе коих мы старались дать выше, а в некоторых типах дополнительно и на обслуживание вспомогательных механизмов (лебедок, Power-Take-off и др.).

Рассмотрим рабочий баланс мощностей, расходуемых на прямые сопротивления.

Обозначим:

- $N_m$  — мощность, теряемую в передаточных механизмах,
- $N_f$  — мощность, теряемую на преодоление сопротивлений качению по дороге, зависящую от состояния дороги и шин,
- $N_n$  — мощность, теряемую на преодоление сопротивлений от движения в упругой среде,

$N_i$  — мощность, расходуемую на преодоление подъема,  
 $N_j$  — мощность, расходуемую на сообщение самоходу ускорения.

Мощности  $N_m$ ,  $N_f$  и  $N_n$  всегда имеют место при движении самохода: мощности  $N_i$  и  $N_j$  могут отсутствовать (при движении по прямой горизонтали и при установившемся движении).

В общем случае, пока самоход не идет установившимся движением по прямой горизонтали, полная мощность двигателя определяется так:

$$N = N_m + N_f + N_n + N_i + N_j. \quad (94)$$

При установившемся же на прямой горизонтали движении — соответственно

$$N = N_m + N_f + N_n. \quad (95)$$

Мощность, передаваемая двигателем на ведущие колеса, определяется, очевидно, разностью мощностей  $N$  и  $N_m$  и, очевидно, составит:

$$N_k = N - N_m. \quad (96)$$

Обозначая через  $\eta_m$  — механический к. п. д. (отношение мощностей  $N_k$  и  $N$ ), получаем в общем виде

$$N - N_m = N_k = \eta_m \cdot N, \quad (97)$$

где  $\eta_m = 0,80 \div 0,88$ .

Для расчета самоходов можно рекомендовать следующие формулы, принятые в автомобилестроении.

Мощность  $N_k$  на ведущем колесе:

$$N_k = \frac{M_{кр} \cdot n_k}{716,2} = \frac{Z \cdot R_k \cdot n_k}{716,2}, \quad (98)$$

где:

$M_{кр}$  — крутящий момент на валу двигателя в кгм.

$Z$  — тяга в кг, взятая по диаграмме тяги при соответствующей скорости  $V_a$  км/час и оборотах ведущего колеса  $n_k$  об/мин.,

$R_k$  — радиус деформированного колеса в м.

Связь между скоростью движения самохода  $V_a$  км/час и числом  $n_k$  об/мин. ведущего колеса, определяется формулой:

$$n_k = \frac{V_a}{0,06 \pi \cdot D_k} \text{ об/мин.}, \quad (99)$$

где

$D_k$  — диаметр деформированного колеса, равный произведению из нормального диаметра  $D$  на коэффициент деформации, равный для пневматиков

$k_1 = 0,96 \div 0,97$ , а для грузозин  $k_2 = 0,97 \div 0,98$ .

Мощность  $N_f$ , теряемая на сопротивление качению, может быть определяема по формуле

$$N_f = \frac{G \cdot f}{270} \cdot V_a \text{ л. с.}, \quad (100)$$

где:

$G$  — полный вес самохода в рабочем состоянии (с грузом, пассажирами и т. п.),

$f$  — коэффициент сопротивления дороги,

$V_a$  — скорость движения в км/час.

Мощность, теряемая на преодоление сопротивлений от движения в упругой среде, может быть определена по формуле:

$$N_n = k \cdot \frac{F \cdot V_a^3}{3500} \text{ л. с.}, \quad (101)$$

где:

$k$  — коэффициент сопротивления воздуха, равный, примерно, 0,07,

$F$  — площадь лобового сопротивления, примерно, равная произведению из ширины колеи передних колес (поперечная база) на полную высоту кабины (кузова) над землей в м<sup>2</sup>,

$V_a$  — скорость движения км/час.

Зная  $N_f$  и  $N_n$ , можно рассчитать избыточную мощность  $N_u$ , которая при мощности  $N_k$  на колесе, очевидно, составит

$$N_u = N_k - (N_f + N_n). \quad (102)$$

Эта избыточная мощность определяет возможное на прямой горизонтали ускорение, которое подсчитывается по формуле:

$$j_a = \frac{270 \cdot g \cdot N_u}{\delta \cdot G \cdot V_a}, \quad (103)$$

где:

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  — ускорение силы тяжести,

$\delta = 1,06 \div 1,08$  — коэффициент, учитывающий ускорение вращающихся частей,

$N_u$ ,  $G$ ,  $V_a$  — величины, данные в предыдущих формулах.

В общем случае, так как часть паровых самоходов имеет коробки скоростей и передачи в заднем мосту, число об/мин. вала двигателя при движении самохода со скоростью  $V_a$  км/час и передаче  $i_0$  определителя по формуле:

$$n = i_0 \cdot n_k = \frac{i_0 \cdot V_a}{0,06 \pi D_k} \text{ об/мин.} \quad (104)$$

Крутящий же момент двигателя на валу определится при этом как

$$M_{кр} = \frac{Z \cdot R_k}{\eta_m \cdot i_0} \text{ кгм}, \quad (105)$$

где:

$Z$  — тяга в кг,

$R_k$  — радиус деформированного колеса в м,

$\eta_{тр}$  — механический к. п. д. трансмиссии,

$i_0$  — передача.

Таким образом могут быть подсчитаны компоненты мощности. Вопрос относительно ускорения и мощности, расходуемой на разгон, следует рассмотреть несколько подробнее.

Рассматривая вопрос в общем виде, надо учитывать два вида сил инерции:

а) силы, относящиеся к вращающимся массам,

б) силы, относящиеся к массам, движущимся поступательно.

Сообразно с этим распадается и мощность  $N_j$ , которую позволительно выразить уравнением:

$$N_j = N'_j + N''_j. \quad (106)$$

Сила  $P_j$ , необходимая для ускорения массы  $M$  самохода, может быть определена, как

$$P_j = M \cdot j. \quad (107)$$

Мощность же, необходимая для преодоления этой же силы, составит как произведение из силы на скорость, т. е. составит:

$$N''_j = M \cdot j \cdot v = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot v. \quad (108)$$

Что касается вращающихся масс, положим, с моментом инерции  $I$ , то для сообщения вращающейся массе углового ускорения  $\frac{d\omega}{dt}$ , как известно, нужен вращающий момент, величина которого составит:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt}.$$

Мощность, необходимая для преодоления этого момента, составит как произведение из величины этого момента на угловую скорость, т. е. будет:

$$N'_j = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega. \quad (109)$$

Следовательно:

$$N_j = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega + \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot v. \quad (110)$$

Вследствие того, что у самоходов вращающиеся массы невелики (кроме массы коленчатого вала и маховика), обычно считают, что эти массы на 5—8% как бы дополняют массу маховика и вала. При этом  $N'_j$  может быть представлена как

мощность, идущая на ускорение вращения маховика, вала и колес, и тогда:

$$N_j = I_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \cdot \omega_m + (4 \div 8) I_k \cdot \frac{d\omega_k}{dt} \cdot \omega_k. \quad (111)$$

Здесь:

$I_m$  — момент инерции маховика и вала, увеличенный на  $5-8\%$ .

$I_k$  — момент инерции ходовых колес (4—8 штук), если колеса одинаковы,

$\omega_m$  и  $\omega_k$  — соответствующие  $I_m$  и  $I_k$  угловые скорости.

Так как при наличии между машиной и колесами передачи с отношением  $i$  можно установить связь между угловой скоростью  $\omega_m$  и скоростью  $v$  движения самохода в виде:

$$\omega_m = v \cdot \frac{i}{R_k}, \quad (112)$$

где  $R_k$  — радиус ведущего колеса,

то ускорение  $\frac{d\omega}{dt}$  может быть представлено в виде:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = j \cdot \frac{i}{R_k}. \quad (113)$$

Соответственно для угловой скорости вращения и углового ускорения колес будет иметь место условие:

$$\omega_k = v \cdot \frac{1}{R_k} \quad (114)$$

и

$$\frac{d\omega_k}{dt} = j \cdot \frac{1}{R_k}. \quad (115)$$

Подстановки приводят уравнение (111) к виду:

$$N_j = \left[ I_m \cdot \frac{i}{R_k} + (4 \div 8) I_k \cdot \left( \frac{1}{R_k} \right)^2 \right] j \cdot v. \quad (116)$$

Сравнивая уравнение (116) и (108), видим, что выражение, взятое в уравнении (116) в прямые скобки, соответствует массе  $M$  в уравнении (108).

Это позволяет вести расчет *только по силам поступательного движения*, причем массу самохода следует несколько увеличить.

Такой подход позволяет принять для  $N$  условие

$$N_j = \gamma \cdot \frac{G}{g} \cdot j \cdot v, \quad (117)$$

где:

$G$  — вес самохода,

$g$  — 9,81 м/сек<sup>2</sup>,

$v$  — скорость самохода м/сек.

Коэффициент  $\gamma$  зависит от передачи между машиной и ведущим колесом. Он представляет собою как бы прирост массы самохода за счет наличия у последнего вращающихся деталей.

Проф. Чудаков, соображениями коего мы здесь воспользовались, дает этот коэффициент (в среднем) таким:

$$\begin{aligned} \text{на низшей скорости } \gamma &= 1,8 \div 2,2; \\ \text{на высшей скорости } \gamma &= 1,05 \div 1,07. \end{aligned}$$

Попробуем теперь использовать уравнение (94) и найденные нами значения

$$N_f (\text{ур. 79}), N_n (\text{ур. 81}), N_t (\text{ур. 83}) \text{ и } N_j (\text{ур. 117}).$$

В общем случае, когда самоход перемещается не по прямой горизонтали с установившейся скоростью, будем иметь:

$$\eta_m \cdot N = G \cdot f \cdot v + \beta \cdot F \cdot v^3 + G \cdot \sin \alpha + \gamma \frac{G}{g} \cdot j \cdot v. \quad (118)$$

Это уравнение легко приводится к виду:

$$\eta_m \cdot N = G \cdot v \left( f + \sin \alpha + \gamma \frac{j}{g} \right) + \beta F v^3. \quad (119)$$

Нужно помнить,  $\eta_m N$  и все компоненты правой стороны уравнения имеют размерность кгм/сек; для пересчета в лошадиные силы надо правую часть уравнения (119) разделить на 75.

Тогда будем иметь

$$N = \frac{G \cdot v \left( f + \sin \alpha + \gamma \frac{j}{g} \right) + \beta F v^3}{75 \cdot \eta_m} \text{ л. с.} \quad (120)$$

При расчете мощности двигателя для самохода, идущего по прямой горизонтали со скоростью  $v_{\max}$ , установившимся движением, т. е. для случая, когда  $j = 0$ , будем иметь

$$N = \frac{G \cdot v_{\max} \cdot f + \beta \cdot F \cdot v_{\max}^3}{75 \eta_m} \text{ л. с.} \quad (121)$$

Таким образом может быть выяснена потребная мощность двигателя самохода.

Разумеется, в указанном плане приходится сделать ряд расчетов для целого ряда возможных вариантов движения и только после этого окончательно принять потребную мощность.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Для сравнения тяговых качеств нескольких автомобилей пользуются так называемой динамической характеристикой, которая представляет собою полную тягу, отнесенную к единице веса груженого автомобиля за вычетом силы сопротивления движению в упругой среде, также отнесенной к единице веса.

В результате остается сила, идущая на сопротивление дороги и на сообщение автомобилю определенного ускорения.

Таким образом динамическая характеристика позволяет установить зависимость скорости движения на разных дорогах и возможности разгона на этих дорогах.

Уравнение динамической характеристики пишется для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в таком виде:

$$D_x = \frac{\eta_m \cdot \frac{M_{кр}}{R_k} \cdot i_0 \cdot i_k - kFv^3}{G}. \quad (122)$$

Здесь:

$\eta_m$  — механический к. п. д. трансмиссии, принимаемый равным  $0,8 \div 0,88$ ,

$M_{кр}$  — крутящий момент мотора в кгм,

$R_k$  — радиус качения деформированного колеса в м,

$i_0$  — передаточное число в дифференциале,

$i_k$  — передаточное число в коробке скоростей и демультипликаторе,

$k$  — коэффициент сопротивления воздуха, принимаемый чаще всего в  $0,07$ ;

$F$  — площадь лобового сопротивления в  $m^2$ ,

$v$  — скорость движения в м/сек,

$G$  — вес груженого автомобиля в кг.

Первый член уравнения (122) представляет собою полную тягу  $Z$ , приложенную к ведущим колесам.

Для парового самохода первый член, т. е.  $Z$  изменяется по закону, отличному от закона изменений  $Z$ , имеющему место при автомобильном моторе. Сравнение представлено на схеме (фиг. 161), где сплошная кривая гиперболического типа принадлежит паровому самоходу, а отдельные короткие кривые — бензиномоторному на разных передачах. Как можно видеть, сравнивая кривые, тяговая характеристика для парового самохода более благоприятна; при этом она сохраняет свой вид как для случая, когда нет передач в трансмиссии, так и для случая, когда таковые имеются.

Диаграмма динамического фактора позволяет определить ускорение для разных передач коробки скоростей.

Непосредственно ускорение может быть вычислено по формуле:

$$j = \frac{75 \cdot N_u \cdot g \cdot 3,6}{\delta \cdot G \cdot V_a}, \quad (123)$$

где:

$j$  — ускорение м/сек<sup>2</sup>,

$g = 9,81$  м/сек<sup>2</sup>,

$G$  — вес автомобиля в кг,

$V_a$  — скорость автомобиля в км/час,

$N_u$  — избыточная мощность в л. с.



В формулах (124) и (125) обозначено:

$\alpha$  — максимальный угол подъема в градусах,

$N_u$  — избыточная мощность в л. с.,

$G$  — вес груженой машины в т,

$V_a$  — скорость движения км/час,

$h$  — подъем в ‰.

Коэффициент  $\varphi$  сцепления для паровых самоходов может рассчитываться так же, как и для бензиномоторных.

Если:  $Z$  — полная максимальная тяга в кг,

$G_{сц}$  — вес, приходящийся на ведущие колеса,

то

$$\varphi = \frac{Z}{G_{сц}}. \quad (126)$$

Величина  $\varphi$ , как и у бензиномоторных, может достигать у паровых значений  $\varphi = 0,8$ , особенно при надевании вездеходных цепей на шестиколесных ходах.

Мы считаем возможным на этом закончить нашу работу.

Такие вопросы, как, напр.: облегчение передка при движении на подъем, определение положения центра тяжести и нагрузки колес; определение времени и путей разгона; расчеты на прочность и т. п. для паровых самоходов решаются так же, как и для моторных. Все эти вопросы можно отыскать в обширной литературе, посвященной автомобилям, к каковой и отсылаем читателя нашей небольшой работы<sup>1)</sup>. Равным образом отсылаем к литературе по специальному вопросу о пожарах, которые могут быть вызваны искрами<sup>2)</sup>.

---

<sup>1)</sup> См. работы: проф. Чудакова, Гольца, Büssien'a, пр. Львова, Хедера и др., а также — спец. журналы, посвященные автомобилю и трактору, „Автомобиль и дорога“, „Автотракторное дело“, „Известия НАТИ“ и друг.

<sup>2)</sup> Игель, проф. Пожары, вызываемые паровозными искрами, „Русско-Герм. Вестн. науки и техники“, № 5 и 6, 1935, Москва — Берлин.

## ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ДЛЯ НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЫ

1. K. Imfeld, R. Roosen, Neue Dampffahrzeuge, V. D. I. Bd. 78, № 3, 1934.
2. „Engineering“, 16/VI 1933; 27/IV 1934; 31/VI 1934, 26/IV 1935 (статья Т. Н. Gifford Историч. обзор паровых самоходов).
3. „Sentinel-Cammell“ Gear Driven Rail Cars, март, 1931.
4. P. M. Heldt, New Steam Propelled Motor Bus, „Automotive Industrie“, 29/XII 1928.
5. The evaporative capacity of Locomotive Boilers, „Railway Mech. Eng.“, № 8, 9, 1925.
6. Гуляев Г. И., Паровые автомобили и тракторы, Москва, 1931.
7. Гуляев Г. И. Современные паровые автомобили, „Вестн. тех. и техн.“ № 5, 6, 1928.
8. Иерусалимский А. М., Автомобиль, Москва, 1934.
9. Бухарин Н. А., Современные тракторы, Москва, 1931.
10. Чудаков Е. А., проф. Курс устройства автомобиля, Москва, 1931.
11. Современные паровые автомобили, „Успехи пром. техн.“, изд. БИИТ\* № 5, 1925.
12. „Sentinel Transport News“, Bull., 1932-1935.
13. Статьи и заметки в журналах:
  - а) „Bus Transportat“, март, 1929; июль 1929.
  - б) „Motor Transport“, 3/VIII 1925; 5/VII 1926; 1/VIII 1927; 14/IX 1927. 30/VI 1930.
  - в) „The commercial Motor“, 6/VI 1926; 8/V 1928.
  - г) „Kraftzug in Wirtschaft und Heer №2, 1931.
  - д) „The Royal Tank Corps Journ“, сентябрь, 1930.
  - е) „Railway Age“, 17/1, 1931.
  - ж) „The Railway Eng.“, окт 1927.
  - з) „Механ. и мотор РККА“, № 4, 5, 6, 1931.
14. Müllers Road Autotrains, „Mech. Transp.“. № 3, 1922.
15. John Giles's Locomotive Agricultural Engine, „The pract Mechanic's Journ“, 1/VI 1854.
16. „Изв. Бюро с.-хоз. механики“, 1912—1916 гг.
17. Статьи и заметки в журналах:
  - а) „Quartermaster Review“, июль, авг. 1924, стр. 6—7 (прогиб дорожн. полотна).
  - б) „Мех. и мотор РККА“, № 8. стр. 81—90, 1931 (ходы большой проходимости).
  - в) „Автом. и дорога“ № 4, 1931 (местн. транспорт).
  - г) V. D. I., 1911, стр. 413, 455, 460 (истор. справка).
  - д) „Р.-Герм. в. и. и техн.“ № 3 — 4 1930.
18. Дубеллир Г. Д., проф. Организация перевозок грузов и пассажиров по грунтовым дорогам, Киев, 1920.
19. Крживицкий А. Исследование средств механической перевозки грузов и электромеханические грузовики, М., 1922.
20. Комлев И. А. Локомобиль, расчет и конструирование, М., 1931.
21. Наумов. Локомобили, М. 1929.
22. Добровольский В. А., Локомобиль и молотилка, Одесса, 1923.

23. Добровольский В. А., проф., Промислові локомотиви, Одесса, 1930.
24. Ulbrich A., prof. Einrichtung und Betrieb fahrbarer und feststehender Locomobilen, Leipzig, 1923.
25. Козакевич Е. П. Паротяги высокого тиску, Дніпроп., 1932.
26. Ямченко М. Будущая конструкция паровоза, „Реконстр. трансп.“ № 11, 1931.
27. Кудрявцев И. И. Крипоустойчивость сталей в котлах высокого давления, „НИИМАШ“ № 4, 1935.
28. Попырев. К вопросу о зависимости между к. п. д. паровозного котла и степенью его форсировки, „Вест. Инж.“ № 23, 1915.
29. Лебедев. Некоторые выводы из опытных данных о силе тяги и паропроизводит. нефти для пассажирских паровозов с пароперегревателями, М., 1917.
30. Мартинов А. С. К вопросу о нормировании топлива на паровозах, „Вестн. Инж.“ № 7, 1925.
31. Мартинов А. С. Важнейшие факторы работы паровозного котла, „Сборн. Локомотивостроение“ № 2, 1932, стр. 18—22.
32. Сыромятников. Исследования рабочего процесса паровозн. котла, „Техн. и экон. пут. сообщ.“ № 1 — 2, 1921.
33. Николаев Г. А., проф. Результаты испытаний котла СА на Людиновском локомотивном заводе, „НИИМАШ“ № 4, 1935.
34. ТУ и Н на постройку и поставку котлов высокого давления (р. > 22 ат.), Ленингр., 1930.
35. Предтеченский А. А. Современные требования, предъявляемые к материалам для котлостроения, „Изв. теплот. съездов“ № 3 — 26, 1927.
36. Шпилькавер Р., Шнейдерс Ф., Рюстер А. Паровые котлы. М. 1932.
37. Bauschinger, Indikatorversuche von Locomotiven, 1868.
38. Формаковский В., проф. Перегретый пар в паровозах большой мощности, Киев, 1911.
39. Формаковский В., проф. Краткий расчет паровоза и тендера. К. 1912.
40. Корчевский Б. О расчете конусных устройств. „Изв. ю.-р. Общ. технологов“, № 7 — 8, 1912.
41. Лодыженский, проф. Конусы, дымовые трубы, поддувала паровозов. Киев, 1927.
42. Мухачев П. М., проф. Паровозы. Харьков, 1925.
43. Погодин. проф. Термодинамика. „В. общ. технолог.“, 1910.
44. Медведев. Теория гусеничных систем. Киев. 1934.
45. Заславский В., проф. Краткий курс расчета механизмов танков. Москва, 1931.
46. Львов Е., проф. Тракторы. Москва, 1933.
47. Добровольский В. А., проф. Многочерпаковые экскаваторы (глава: „Гусеничные ходы“), Киев, 1934.
48. Добровольский В. А., проф. Инж., В. М. и Д. М. Поддерезины. Игольчатые подшипники. Одесса, 1935.
49. Молодзевский. Теория механизма жанто, „В. инж. и техн.“ № 2, 1917.
50. Статьи и заметки в журналах:
  - а) „Изв. теплот. инст.“ № 14, 1926.
  - б) „Локомотивостроение“ № 1, 1931, стр. 48 — 59 и № 2, 1932, стр. 115—117.
51. Статьи в газете „Техника“ № 62 от 3/VII 1932; № 23, 56, 61, 82, 87 и 92 за 1934 г., № 43 за 1935 г.
52. Каталог фирм: „Sentinel“; „Bryan“; „Robey“; „Foden“; „Fowler“; „Atkinson“; „Jorkshire“; „Mann“; Henschel und Sohn“; „H. Lanz“; „R. Wolf“; R. Garrett“; M. Fabr. Heilbronn“.
53. НАТИ. Динамический и конструктивный расчеты грузовых автомобилей для Ярославского завода, авг., 1931, Москва.
54. НАТИ. Данные по выбору мотора для троллейбуса на шасси Я-6 (Б. Гольд), Москва, ноябрь, 1932.
55. Meyrick and Johnes, Steam Road Vehicles, London, 1926.

56. *Lindeman*, Hochdruck Dampfomnibus, V. D. I. 1929, стр. 1138 и  
далее.
57. *I. Bretherton* (проектиров. паровых автомоб.), „Proc. of the Instit  
of Autom. Engin“, London (Pr. I. A. E.), ч. 2, стр. 227, 1922/23.
58. *Clarcson* (проектир. пар. автом.), „Pr. I. A. E.“, ч. 2, стр. 493,  
1923/24;
59. *Carnock* (современ. пар. автом.), „Pr. I. A. E.“ стр. 600, 1924/25.
60. *C. Cosselin* (пределы применим. пар. авт.), „Pr. I. A. E.“, ч. 2,  
стр. 253, 1922/23.
61. More about the Sentinel Model S. „Sent. Transp. News“, Vol XVIII,  
№ 3, стр. 43 — 47, 1933.
62. Steam Transport vor the Tropics, „Sent Transp. News“, Vol XIX,  
№ 5, стр. 75 — 76, 1934.
63. The Poggess of Removal Transport, „Sent. Transp. News“, Vol XIX  
№ 1, стр. 5 — 7, 1934.
64. The New Sentinel Twin—Bogie B. Tonner, „Sent. Transp. News“, Vol  
XIX, № 4, стр. 62 — 63, 1934.
65. *Чудаков*, проф. Тяговый расчет автомобиля. М., 1931.
66. *Жирицкий*, проф. Паровые машины.
-

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>ЧАСТЬ ОБЩАЯ</b>	
Краткая историческая справка . . . . .	11
Объекты изучения . . . . .	16
А. Легковой паровой автомобиль . . . . .	16
Б. Паровой сельско- хозяйственный трактор . . . . .	20
В. Паровой автобус . . . . .	20
Г. Паровой грузовик . . . . .	22
Признаки для классификации . . . . .	22
Область применения и экономические справки . . . . .	23
Сравнительные достоинства и недостатки паровых самоходов . . . . .	26
Общая схема современного парового самохода . . . . .	34
Общие замечания к основным типам . . . . .	42
<b>ПАРОВЫЕ КОТЛЫ</b>	
Общие характеристики и данные . . . . .	44
Давление пара и его значение . . . . .	45
Материалы для котлов . . . . .	49
Котлы паровозного типа . . . . .	50
А. Котел завода „R. Wolf Magdeburg“ . . . . .	50
Б. Котел завода „I. Case Treshing Machine Co“ . . . . .	53
В. Котел завода „Robey and Co“ . . . . .	55
Г. Паровой котел завода „Maschinenbau Ges. Heilbronn“ . . . . .	57
Д. Американский котел „Mann“ . . . . .	57
Достоинства и недостатки котлов паровозного типа . . . . .	57
Двухконечный локомотивный котел . . . . .	60
Вертикальные водотрубные котлы . . . . .	62
А. Котел „Atkinson“ . . . . .	62
Б. Котел „Clayton“ . . . . .	64
В. Котел „R. Garrett“ . . . . .	66
Г. Котел „Sentinel“ . . . . .	67
Вертикальные огнетрубные паровые котлы . . . . .	67
Горизонтальные огнетрубные паровые котлы . . . . .	69
Комбинированные котлы . . . . .	71
А. Котел „Bryan“ . . . . .	72
Б. Паровой котел Людиновского завода . . . . .	72
Котлы без водяного пространства . . . . .	75
А. Котел „Bescker's“ . . . . .	76
Б. Котел Стэнлей . . . . .	79
В. Котлы „Automotive и Bruck“ . . . . .	79
Пример расчета парового быстродействующего котла для самохода Under ure . . . . .	80

Соображения и данные для подбора котлов само- ходов Overture . . . . .	90
А. Поверхность нагрева котлов . . . . .	90
Б. Соображения по вопросу расчета температур . . . . .	95
В. Соображения и формулы к расчету коэффициента теплопередачи . . . . .	97
Г. Соображения к расчету форсового конуса . . . . .	99
Пароперегреватели и подогреватели питательной воды . . . . .	102
Конструкция . . . . .	102
Теоретические соображения . . . . .	105
Паровые машины . . . . .	109
Общие замечания и классификация . . . . .	109
Машины самоходов класса Overture . . . . .	111
А. Машина самохода завода „R. Wolf“, Magdeburg . . . . .	111
Б. Машина самохода „Fowler and C <sup>o</sup> “ . . . . .	113
В. Машина самохода „Robey and C <sup>o</sup> “ . . . . .	113
Г. Тандем-машины . . . . .	114
Д. Одноцилиндровые машины . . . . .	114
Е. Элементы машин . . . . .	114
Машины самоходов класса Undertype . . . . .	120
А. Паровая машина „Clayton“ . . . . .	120
Б. Машина фирмы „Delling Motors C <sup>o</sup> “ . . . . .	122
В. Машины „Sentinel“ . . . . .	124
Г. Машины „Atkinson“ . . . . .	132
Д. Машина „Yorkshire“ . . . . .	133
Е. Машина „Fowler“ . . . . .	134
Ж. Машина „Bryan“ . . . . .	134
З. Машины „Stanly и Doble“ . . . . .	134
И. Машина „R. Garrett“ . . . . .	135
К. Машина Людивовского завода . . . . .	137
Л. Машина для грузовика (проект) . . . . .	137
М. Элементы машин . . . . .	140
Несколько замечаний к расчету паровых машин . . . . .	142
Пример расчета паровой машины . . . . .	145

## ЭКИПАЖ

Ходовые устройства . . . . .	148
А. Общие замечания . . . . .	148
Б. Колесные ходы . . . . .	149
В. Колесные ходы повышенной проходимости . . . . .	155
Г. Преимущество ходов повышенной и большой проходимости . . . . .	160
Прочие части экипажа и снаряжение . . . . .	163

## ОТДЕЛЬНЫЕ САМОХОДЫ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Заграничные самоходы . . . . .	167
1. Самоходы фирмы „Sentinel Ltd“ . . . . .	167
2. Самоходы фирмы „Yorkshire C“ . . . . .	170
3. Самоходы фирмы „Atkinson and C“ . . . . .	172
4. Самоходы фирмы „Foden Ltd“ . . . . .	175
5. Самоходы фирмы „J. Fowler and C“ . . . . .	180
6. Трактор фирмы „R. Garrett and S.“ . . . .	183
7. Самоходы фирмы „Mann“ . . . . .	185
8. Немецкие самоходы . . . . .	186

<b>Паровой самоход в СССР . . . . .</b>	<b>190</b>
А. Общие сведения . . . . .	190
Б. Трактор Людиновского завода . . . . .	191
В. Проект грузовика . . . . .	192
<b>Теоретические соображения . . . . .</b>	<b>198</b>
Общие предпосылки . . . . .	198
Свойства автомобильного мотора . . . . .	199
Свойства парового двигателя . . . . .	201
Сопротивление движению и график сопроти- вления . . . . .	203
Кривая сцепной силы тяги . . . . .	207
Кривая силы тяги по цилиндрам . . . . .	208
Кривая котловой силы тяги . . . . .	210
Общая диаграмма сопротивлений и сил тяги . . . . .	212
Рабочий баланс парового самохода . . . . .	213
Динамическая характеристика . . . . .	218
<b>Литература, использованная для работы . . . . .</b>	<b>222</b>

---