

**Саввин Сергей Григорьевич**

**Компаунд паровозы, их  
устройство и главные детали**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3  
ББК 84-4  
С32

С32     **Сергей Григорьевич С.**  
Компаунд паровозы, их устройство и главные детали / Саввин Сергей Григорьевич – М.:  
Книга по Требованию, 2023. – 96 с.

**ISBN 978-5-519-84337-9**

**ISBN 978-5-519-84337-9**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2023  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## Невыгоды дѣйствія машинъ обыкновенныхъ паровозовъ.

Наблюденіями еще надъ первой паровой машиной было установлено, что между количествомъ израсходованнаго топлива и работою машины существуетъ нѣкоторое опредѣленное соотношеніе. Такъ: первая паровая машина, построенная въ Англіи въ 1698 г., на одинъ килограммъ угля работала съ напряженіемъ одной паровой лошади только 5 минутъ; затѣмъ, послѣ нѣкоторыхъ улучшеній,—8 минутъ. Машина Уатта работала уже 25 м. Въ 1798 г. появились и первыя научныя работы Румфорда и Деви, указывавшія болѣе опредѣленно на соотношенія между теплотою и работою. Въ шестидесятыхъ-же годахъ, текущаго столѣтія, трудами Майера, Гирпа и Джауля было найдено, что каждой единицѣ затраченной теплоты соотвѣтствуетъ 425 килограмметровъ работы (механическій эквивалентъ). Кромѣ того, было вычислено, что если мы представимъ себѣ вполне совершенную паровую машину, (идеальную) то она на одинъ килограммъ угля должна работать съ напряженіемъ одной паровой лошади 12 час. 35 м. \*)

---

\*) Если за единицу вѣса примемъ килограммъ, (приблиз. 2,5 ф.) а за единицу длины—метръ, (около 1,4 арш.) то усиліе, потребное для того, чтобы въ 1 секунду поднять грузъ вѣсомъ въ 1 килограммъ на высоту одного метра принимаютъ за единицу работы (килограмметръ).

Паровая лошадь въ 1 секунду совершаетъ 75 килограмметровъ работы.

За единицу теплоты принимаютъ то количество ея, которое можетъ повысить температуру одного килограмма воды на одинъ градусъ.

На основаніи ученія о теплотѣ, при всякомъ превращеніи теплоты въ работу, или обратно, между работою и теплотою существуетъ такое соотношеніе: каждой единицѣ затраченной теплоты соотвѣтствуетъ 425 килограмметровъ работы. Изъ опыта извѣстно, что при сгораніи килограмма угля выделяется 8000 единицъ теплоты, (калорій). Слѣдовательно, 8000 тепловыхъ единицъ отнѣчаютъ  $8000 \cdot 425 = 3400000$  килограмметровъ работы. Но если паровая машина работаетъ съ напряженіемъ одной паровой лошади, то въ секунду она совершаетъ 75 к.м. работы. При полномъ же превращеніи теплоты въ работу, она должна на одинъ килограммъ угля работать:  $3400000 : 75 = 45333$  секунды, или приблизительно 12 ч. 35 м.

На практикѣ осуществить этого невозможно потому, что нельзя построить такую паровую машину, у которой совершенно не происходило бы потерь теплоты черезъ лучеиспусканіе и теплопроводность ея частей, а также и несуществовало-бы тренія и ударовъ въ частяхъ механизма. Ни одна изъ дѣйствительныхъ машинъ не избавлена отъ этихъ существенныхъ недостатковъ. Поэтому, въ настоящее время самыя лучшія и усовершенствованныя паровыя машины на одинъ килограммъ угля работаютъ съ напряженіемъ одной паровой лошади не болѣе 2 часовъ, а машины обыкновенныхъ паровозовъ (не компаундъ) не болѣе часа. Отсюда и возникло стремленіе довести полезное дѣйствіе паровой машины до возможно высшаго предѣла, путемъ устраненія тѣхъ несовершенствъ, которыя препятствуютъ возможно полному переходу теплоты въ работу.

Исслѣдуя въ этомъ направленіи машины простыхъ паровозовъ, оказывается, что главными причинами неэкономичнаго дѣйствія ихъ служатъ:

- а) значительное охлажденіе пара о стѣнки цилиндровъ;
- б) отсутствіе возможности пользоваться болѣе высокими степенями расширенія пара, и с) отчасти потери пара на заполненіе вредныхъ пространствъ.

Ученый Ньютонъ открылъ правило, что теплота перемѣщается тѣмъ скорѣе, чѣмъ выше разность температуръ тѣхъ тѣлъ, которыя обмѣниваются тепломъ. Такъ напримѣръ, если кусокъ раскаленнаго желѣза опустимъ въ сосудъ съ холодной водой, то желѣзо охладится, а вода нагрѣется. При этомъ сначала охлажденіе будетъ происходить весьма быстро, а затѣмъ все медленнѣе по мѣрѣ того, какъ температура куска желѣза будетъ приближаться къ температурѣ воды. Изъ этого примѣра видно, что передача теплоты однимъ тѣломъ другому происходитъ тогда, когда существуетъ разность температуръ, при чемъ теплота перемѣщается отъ тѣла съ болѣе высокой температурой къ тѣлу съ температурой болѣе низкой. Паръ въ этомъ отношеніи не

представляет исключенія изъ этого общаго правила и во всѣхъ случаяхъ когда происходитъ соприкосновеніе пара съ предметами, температура которыхъ ниже температуры пара, онъ строго подчиняется вышеприведенному правилу.

Поэтому, свѣжій паръ, поступающій изъ котла въ цилиндры и встрѣчая холодныя металлическія стѣнки ихъ, охлаждается, теряетъ свою упругость и частью осаждается на стѣнкахъ въ видѣ мелкихъ капель. Такое охлажденіе пара происходитъ во все время движенія поршня съ той только разницей, что съ начала расширенія нѣкоторая часть осажденной воды вновь испаряется на счетъ теплоты стѣнокъ. Остальная же часть влаги, по опытамъ, испаряется только при обратномъ ходѣ поршня и вмѣстѣ съ отработавшимъ паромъ уносится въ атмосферу совершенно бесполезно для работы паровоза. Въ конечномъ результатѣ получается значительная потеря теплоты, которая тѣмъ больше, чѣмъ выше начальное давленіе пара, а слѣдовательно и чѣмъ больше разность температуръ вновь поступающаго пара и цилиндрическихъ стѣнокъ \*) (Температура стѣнокъ паровозныхъ цилиндровъ не бываетъ больше температуры отработавшаго пара) между тѣмъ, непрерывно возрастающій составъ поѣздовъ и скорость ихъ движенія вынуждаютъ увеличивать упругость пара до 12 и болѣе атмосферъ.

При работѣ машины съ расширеніемъ пара, съ момента прекращенія выпуска, расширеніе происходитъ безъ доступа теплоты, почему паръ охлаждается еще раньше выхода въ атмосферу, а потому та часть теплоты, которая у машинъ безъ расширенія пара теряется даромъ, въ данномъ случаѣ совершаетъ нѣкоторую рабо-

\*) Температура пара по термометру Цельсія въ зависимости отъ давленія.

| Атмо-сфера | Темпе-ратура | Атмо-сфера. | Темпе-ратура. | Атмо-сфера | Темпе-ратура. | Атмо-сфера. | Темпе-ратура. | Атмо-сфера. | Темпе-ратура. |
|------------|--------------|-------------|---------------|------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 1          | 100          | 4           | 144           | 7          | 165,3         | 10          | 180,3         | 13          | 192,1         |
| 2          | 120,6        | 5           | 152,2         | 8          | 170,8         | 11          | 184,5         | 14          | 195,5         |
| 3          | 133,9        | 6           | 159,2         | 9          | 175,8         | 12          | 188,4         |             |               |

ту. Но при небольших отсѣчкахъ (менѣе 0,25) паровыя окна открываются весьма мало, почему упругость пара въ періодъ выпуска быстро понижается, а опереженіе выпуска и сжатіе отработавшаго пара начинаются рано и бываютъ очень велики. При такихъ условіяхъ среднее давленіе пара на рабочую сторону поршня получается малымъ, а сопротивленіе съ обратной стороны, по причинѣ усиленнаго сжатія, такъ велико, что отсѣчки менѣе 0,25 въ отношеніи расхода пара почти не приносятъ пользы. Слѣдовательно и въ данномъ случаѣ, благодаря невозможности воспользоваться полной работой расширенія пара, часть теплоты теряется непроизводительно.

Извѣстно, что когда поршень находится въ мертвой точкѣ, то между нимъ и крышкой цилиндра долженъ оставаться нѣкоторый зазоръ для предупрежденія ударовъ о крышку, вслучаѣ какого либо разстройства въ движущемъ механизмѣ. Объемъ этого зазора, сложенный съ объемомъ пароваго канала и называется вреднымъ пространствомъ. Пространство это должно быть наполнено сжатымъ паромъ раньше, чѣмъ поршень выйдетъ изъ мертвой точки. Ясно, что объемъ пара, израсходованный на заполненіе вредныхъ пространствъ принимаетъ участіе въ работѣ машины только въ періодъ расширенія, а при работѣ полнымъ давленіемъ никакого вліянія на поршень не оказываетъ и въ моментъ выпуска вмѣстѣ съ отработавшимъ паромъ уносится въ атмосферу безъ всякой пользы, увеличивая общія потери теплоты.

Въ виду этого, работа обыкновенныхъ паровозовъ давно уже была признана неэкономичной, но съ одной стороны дешевизна топлива, а съ другой—исключительныя условія дѣйствія ихъ заставляли до недавняго времени придавать этому обстоятельству второстепенное значеніе. Усилія же техниковъ были устремлены исключительно на разработку конструкціи паровоза съ цѣлью достигнуть возможно—большей безопасности движенія, значительной скорости и достаточной силы тяги. Рядомъ съ этимъ выработывались усовершенствованные приемы сборки, приборы

для быстрой остановки поѣзда и выгоднаго сжиганія топлива. Но паровая машина паровоза попрежнему оставалась машиной высокаго давленія—безъ охлажденія и съ большимъ давленіемъ на нерабочую сторону поршня. \*) Нежеланіе усложнять и безъ того сложную конструкцію паровоза заставляло довольствоваться весьма малой долей полной работы пара даже въ сравненіи съ обыкновенными паровыми машинами. Когда же устройство паровоза достигло высокой степени совершенства, вниманіе инженеровъ естественно должно было обратиться къ отысканію способовъ наивыгоднѣйшаго пользованія паромъ. Въ этомъ же направленіи дѣйствовало вздорожаніе топлива и постоянное возрастаніе скорости пассажирскаго движенія: чѣмъ больше скорость, тѣмъ больше и расходъ пара, между тѣмъ, паропроизводительность котловъ имѣетъ свои границы, переходитъ которыя по многимъ причинамъ весьма неудобно.

Вслѣдствіе этого, принципъ двойного расширенія пара по

---

\*) Въ зависимости отъ выпуска отработавшаго пара, паровыя машины бываютъ двухъ родовъ: безъ охлажденія и съ охлажденіемъ. У первыхъ отработавшій паръ выпускается прямо въ атмосферу, (паровозы) у вторыхъ—въ особые герметически закрытые сосуды, назыв. холодильниками. Въ холодильникъ мятый паръ при посредствѣ—холодной воды сгущается и переходитъ въ жидкость, отчего давленіе на нерабочую сторону поршня значительно понижается, (въ нѣкоторыхъ случаяхъ до  $\frac{1}{10}$  атмосферы). Холодильники бываютъ двухъ типовъ: а) съ внутреннимъ охлажденіемъ, въ которыхъ мятый паръ смѣшивается съ впрыскиваемой водою и б) съ паружнымъ охлажденіемъ, гдѣ охлаждающая вода не смѣшивается съ паромъ. Первые въ большинствѣ примѣняются въ постоянныхъ заводскихъ машинахъ, вторые—при машинахъ морскихъ пароходовъ. Въ послѣднемъ случаѣ при посредствѣ холодильниковъ не только уменьшаютъ противодавленіе на поршни, но еще получаютъ запасъ прѣсной воды (отъ охлажденія пара) для питанія котловъ. Охлажденіе пара на паровозахъ не примѣняется во первыхъ потому, что мятый паръ имѣетъ здѣсь специальное назначеніе, (служитъ для усиленія тяги дымовой трубы) а во вторыхъ вслѣдствіе значительнаго усложненія устройства машинъ и невыгоды перевозить въ поѣздахъ большаго количества охлаждающей воды. Опытъ показываетъ, что выгода отъ примѣненія холодильниковъ тѣмъ меньше, чѣмъ выше давленіе пара, которымъ машина работаетъ. Слѣдовательно, примѣняя высокое давленіе, можно безъ ущерба для экономіи топлива обойтись безъ холодильника, въ особенности въ паровозахъ, гдѣ рабочее давленіе пара достигаетъ 10—12 атмосферъ.

системъ Вульфа или Компаундъ, примѣненный съ большимъ успѣхомъ къ заводскимъ и пароходнымъ машинамъ, невольно привлекъ вниманіе и паровозостроительныхъ техниковъ.

## Принципъ двойного расширенія.

Принципъ двойного расширенія состоитъ въ томъ, что свѣжій паръ изъ котла сначала поступаетъ въ одинъ цилиндръ и дѣйствуетъ въ немъ какъ въ цилиндрѣ обыкновенной машины, сперва полнымъ давленіемъ, потомъ расширеніемъ, а затѣмъ, непосредственно или черезъ особую трубу, называемую рессиверомъ, направляется въ другой—большаго діаметра, гдѣ снова расширяется, давитъ на поршень и выходитъ въ атмосферу. Благодаря такому послѣдовательному расширенію, сначала въ одномъ, а потомъ въ другомъ цилиндрахъ, въ значительной степени уменьшается вредное вліяніе стѣнокъ цилиндровъ на охлажденіе пара. Такъ какъ малый цилиндръ никогда не сообщается съ наружнымъ воздухомъ и температура стѣнокъ его отъ этого значительно выше чѣмъ цилиндровъ обыкновенныхъ машинъ, то количество влажности въ періодъ выпуска гораздо меньше. Та же часть теплоты, которая при обыкновенномъ расширеніи пара во время выхода его въ атмосферу теряется бесполезно, при двойномъ расширеніи переходитъ въ рессиверъ и большой цилиндръ, гдѣ благодаря этому % влажности также не бываетъ великъ. Въ машинахъ, устроенныхъ по этому принципу, разность температуръ вновь поступающаго и отработавшаго пара значительно меньше, и вредное вліяніе стѣнокъ цилиндровъ, по опытамъ, уменьшается приблизительно вдвое для каждого изъ нихъ. Это обстоятельство одно изъ важныхъ преимуществъ машинъ, работающих двойнымъ расширеніемъ: оно уменьшаетъ расходъ пара, а слѣдовательно и топлива.

Кромѣ того, машины этого типа позволяютъ пользоваться и значительно большими степенями расширенія пара, такъ какъ

паръ послѣдовательно расширяется сначала въ одномъ, а потомъ въ другомъ цилиндрахъ, при чемъ объемъ одного изъ нихъ превышаетъ объемъ другого отъ 2 до 4 разъ. Поэтому, экономія топлива, достигаемая уменьшеніемъ охлаждающаго дѣйствія стѣнокъ цилиндровъ, еще болѣе увеличивается \*).

Вредное вліяніе вредныхъ пространствъ въ машинахъ съ двойнымъ расширеніемъ пара также значительно меньше. Объясняется это тѣмъ, что объемъ пара, расходуемаго на заполненіе вредныхъ пространствъ малаго цилиндра не теряется бесполезно при выпускѣ (въ рессиверъ), а переходитъ въ большой цилиндръ, гдѣ совершаетъ вѣкторую работу. Вредныя же пространства большого цилиндра, не смотря на сравнительно большій объемъ ихъ, при началѣ впуска бываютъ наполнены паромъ, давленіе котораго (по причинѣ сжатія) почти одинаково съ давленіемъ въ рессиверѣ, отчего расходъ пара и здѣсь не бываетъ великъ.

## Паровыя рубашки.

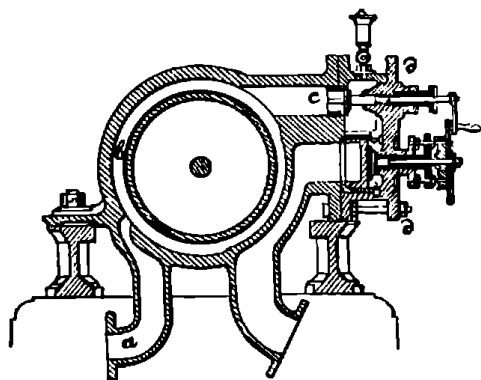
Потеря теплоты черезъ охлажденіе пара стѣнками цилиндровъ, даже въ самыхъ лучшихъ новѣйшихъ машинахъ достигаетъ 20%, а у машинъ обыкновеннаго устройства очень часто теряется до 50% (Инж. 99 г. № 6). Для возможнаго уменьшенія этихъ потерь, помимо примѣненія принципа двойного расширенія пара и покрытія цилиндровъ оболочками изъ плохихъ проводниковъ тепла, паровыя цилиндры иногда снабжаютъ двойными стѣнками (паровыми рубашками), въ промежутокъ между которыми пропускаютъ паръ. Отъ этого температура стѣнокъ вну-

---

\*) При данномъ отношеніи между объемами цилиндровъ, величина расширенія опредѣляется въ зависимости отъ наибольшаго давленія пара въ котлѣ: чѣмъ выше начальное давленіе, тѣмъ больше можетъ быть расширеніе; но при этомъ, давленіе расширяющагося пара въ большомъ цилиндрѣ никогда не должно быть меньше давленія съ нерабочей стороны поршня. (Для паровозовъ оно не д. б. менѣе 1 атм.) Поэтому, первымъ условіемъ экономичнаго дѣйствія машинъ двойного расширенія является требованіе работать всегда при полномъ давленіи пара въ котлѣ.

тренияго цилиндра значительно повышается, а количество влажности въ періодъ выпуска становится меньше.

Фиг. 1.



На фиг. 1 представленъ поперечный разрѣзь цилиндра постоянной машины, снабженнаго паровою рубашкой. Паръ изъ котла по трубѣ *a* поступаетъ въ кольцевой каналъ *b*, обогрѣваетъ стѣнки внутренняго цилиндра и черезъ клапанъ *c*, направляется въ золотниковую коробку *d*.

Произведенными опытами установлено, что для машинъ, работающих обыкновеннымъ расширеніемъ, паровыя рубашки приносятъ несомѣнную выгоду, а въ примѣненіи къ машинамъ двойного расширенія, гдѣ температура стѣнокъ, по крайней мѣрѣ малаго цилиндра, значительно выше, вліяніе рубашки оставалось мало замѣтнымъ. Въ примѣненіи же рубашекъ къ компаундъ паровозамъ, обнаружилось даже нѣкоторое увеличеніе въ расходѣ топлива, почему на этихъ паровозахъ паровыя рубашки почти не ставятся.

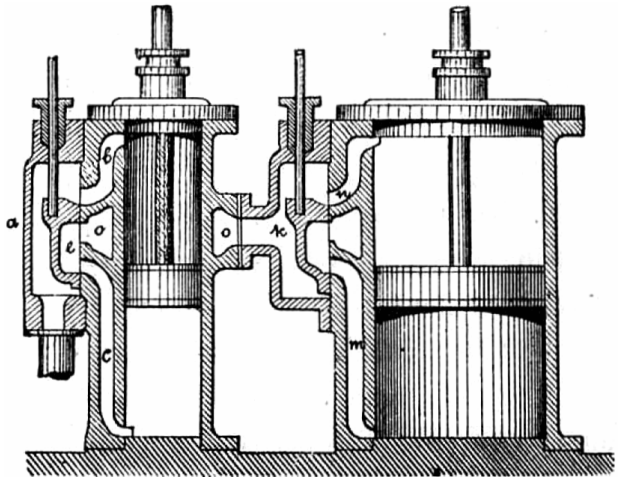
## Машины Вульфа и Компаундъ.

Машины съ двойнымъ расширеніемъ пара бываютъ двухъ типовъ: системы Вульфа и Компаундъ. Какъ тѣ, такъ и другія были предложены въ концѣ прошлаго и началѣ текущаго столѣтій, но болѣе широкое примѣненіе получили онѣ съ конца шестидесятыхъ годовъ.

На фиг. 2 схематически изображено расположеніе цилиндровъ и распределеніе пара въ машинѣ Вульфа. Паръ изъ золотниковой коробки *a* малаго цилиндра по каналу *b* поступаетъ въ верхнюю часть этого послѣдняго, производитъ давленіе на поршень

сверху и заставляетъ его опускаться книзу. Въ то же время отработавшій паръ съ противоположной стороны малаго поршня каналомъ *c*, черезъ вы-

емку въ золотникъ *e* и кольцевое отверстіе *o*, переходитъ въ золотниковую коробку *k*, откуда, при посредствѣ канала *n*, направляется въ верхнюю часть большого цилиндра и дѣйствуетъ на большой поршень точно также сверху; отработавшій же паръ большого цилиндра по каналу *m* вытекаетъ въ атмосферу или холодильникъ.



Фиг. 2.

Движеніе обоихъ поршней передается обычнымъ способомъ на два кривошипа, заклиненные на коренномъ валу машины въ одной плоскости и совершенно одинаково. Поэтому, оба кривошипа одновременно находятся какъ въ верхнемъ, такъ и въ нижнемъ положеніяхъ и одновременно совершаютъ размахи. Перемѣщеніе золотниковъ, дающее возможность пару дѣйствовать то на верхнюю, то на нижнюю сторону поршней, производится обыкновенно эксцентриками или непосредственно, или при помощи кулисъ. При этомъ оба эксцентрика насаживаются на валъ также совершенно одинаково.

Если впускъ сѣжаго пара въ малый цилиндръ будетъ прекращенъ въ то время, когда поршень этого цилиндра пройдетъ половину своего хода и объемъ большого цилиндра будетъ превышать объемъ малаго, положимъ, въ два раза, то степень расширенія пара будетъ равна 4. При отсѣчкѣ на четверти хода малаго поршня, паръ расширится въ 8 разъ, такъ какъ весь паръ, поступившій въ малый цилиндръ переходитъ вслѣдъ затѣмъ

въ большой цилиндръ и въ концѣ хода большого поршня занимаетъ полный объемъ большого цилиндра. \*).

Иногда въ машинахъ Вульфа кривошипы располагаютъ подъ угломъ  $180^\circ$  одинъ къ другому, при чемъ движеніе поршней происходитъ не одновременно вверхъ и внизъ, а навстрѣчу другъ къ другу.

Кромѣ того, цилиндры машинъ этого типа располагаютъ еще такъ, что малый цилиндръ помѣщается на одной оси съ большимъ. Въ такомъ случаѣ оба поршня имѣютъ одинъ общій поршневой штокъ, а оба золотника получаютъ движеніе отъ одного общаго эксцентрика. При такомъ устройствѣ машины Вульфа получаютъ названіе *Тандемъ-Компаундъ*.

Сравнительно большей равномерностью хода обладаютъ машины системы Компаундъ. Принципъ дѣйствія машинъ Вульфа и Компаундъ совершенно одинаковъ; въ обѣихъ системахъ паръ послѣдовательно расширяется въ двухъ цилиндрахъ, сначала въ маломъ, какъ въ цилиндрѣ обыкновенной машины, а затѣмъ въ большомъ. Существенное отличіе машинъ Вульфа отъ машинъ Компаундъ заключается въ томъ, что у послѣднихъ поршни цилиндровъ дѣйствуютъ на два кривошипа, расположенные подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому. Благодаря этому, когда одинъ изъ поршней находится въ мертвой точкѣ, то другой въ то же время будетъ находится приблизительно около середины своего хода. Такое расположеніе кривошиповъ вызываетъ необходимость въ устройствѣ особаго промежуточнаго резервуара (рессивера), въ который выпускается паръ изъ малаго цилиндра и изъ котораго снабжается паромъ большой цилиндръ. Необходимость устройства

---

\*) Если буквой  $L$  обозначимъ длину хода поршня;  $L'$ , — ту часть полного его хода, на которой происходитъ проворачиваніе впуска пара, а буквами  $V$  и  $V'$ , соответственно объемы малаго и большого цилиндровъ, то степень расширенія пара  $E$  опредѣлится по формулѣ:

$$E = \frac{L}{L'} \times \frac{V'}{V};$$