

## Первая русская паровая машина

# 09, сентябрь 2013

DOI: 10.7463/0913.0620921

Головин А. А., Салехов Л. Т.

УДК 621.1(091)

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

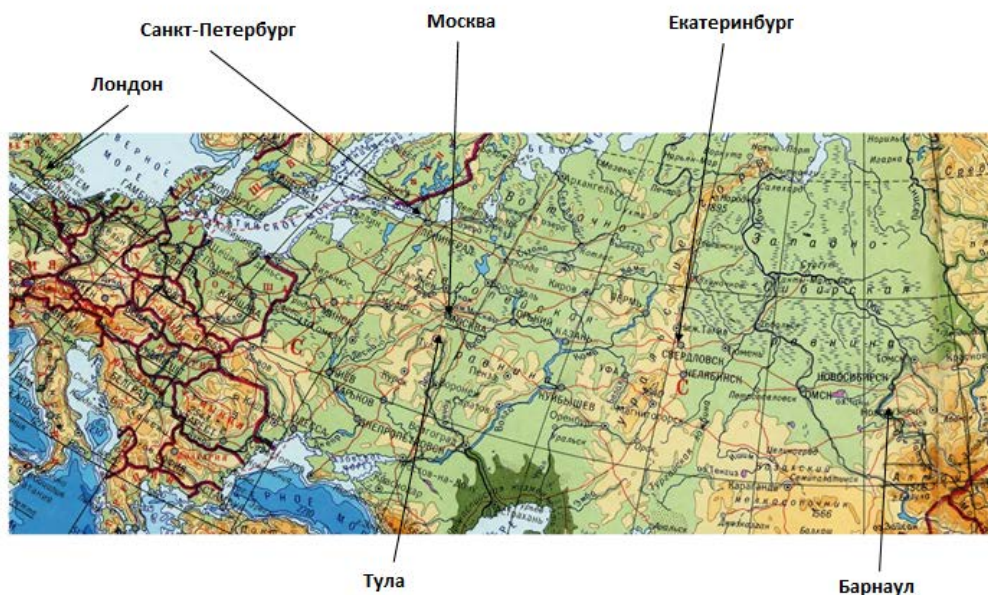
Россия, Московский Государственный Политехнический Музей

[aalgol@mail.ru](mailto:aalgol@mail.ru)

[lesalekhov@yandex.ru](mailto:lesalekhov@yandex.ru)

## Введение

С начала 18 века усилиями воспитанников Петра 1 началось освоение и развитие промышленного производства в районах разведанных залежей ископаемых металлов на Урале (Екатеринбург) и на Алтае (Барнаул) (фиг.1)[1].



Фиг.1

Екатеринбургский доменный, молотовый, чугунолитейный, медеплавильный и механический завод детище сотрудника Петра Василия Татищева построен в 1720-х — начале 1730-х гг. на Среднем Урале. 5 января 1724 г. пущены медеплавильные печи, в

августе началась выплавка чугуна. Вступили в строй доменные печи, молота, прокатная, стальная, якорная, проволоочная, гвоздильная фабрики, машины для сверления пушек, резательные станки, подъемная машина для подачи шихты в домны, две медеплавильные фабрики, лаборатория, подсобные цеха и мастерские, мукомольная и лесопильная мельницы. Суммарная мощность Екатеринбургского гидроузла составляла от 250 до 500 л.с. При заводе была открыта горнозаводская школа – первое в России горное учебное заведение [1, 2, 3, 4].

В 1725 году на базе Алтайских месторождений полиметаллических руд сотрудником Петра 1 А. Демидовым был основан Колывано-воскресенский медеплавильный завод. В эти годы на Алтае были обнаружены запасы серебросодержащей руды. В связи с этим было начато строительство горно-металлургических комплексов. Центром этого строительства стал Барнаул, основанный в 1730 году. До середины 19-го века Алтай поставлял в казну до 90% серебра. В 1747 году алтайские заводы и рудники перешли в собственность царской семьи с учреждением «Округа Колывано-Воскресенского горного завода» [5, 6, 7].

В этих условиях было естественным стремление повысить производительность труда. Это обстоятельство могло быть побудительным мотивом к созданию первой русской паровой машины, автором которой был Иван Ползунов. Машина работала на основе двухцилиндрового поршневого двигателя, работающего по паро-атмосферному циклу непрерывного действия для непосредственного привода заводских агрегатов – воздухоудных мехов.

В статье приведены сведения о проекте машины 1763 года и машине 1766 года, созданные И. Ползуновым.

## **1.Иван Ползунов (1728-1766)**

Прижизненных портретов И. Ползунова не существует. На фиг.2 изображен памятник Ползунову, установленный в г. Барнаул перед Алтайским техническим университетом [1]. Биографическая справка составлена по материалам [1, 2, 3, 4, 7].



Фиг.2.

Иван Ползунов (фиг.2) родился в 1728 г. в семье солдата из крестьян г. Туринска Сибирской губернии. В 1736-38 годах учился Ползунов во «всесословной» школе. Затем перешел в следующую ступень – арифметическую школу при Екатеринбургском металлургическом заводе. После её окончания в 1742 году, как один из лучших, был определен в «механические ученики» к главному механику Никите Бахареву.

В 1747 году начальник Колывано-Воскресенских заводов Андреас Беэр, направлявшийся на место своей новой службы в Барнаул, остановился проездом в Екатеринбурге. Здесь он, пользуясь предоставленным ему правом, отобрал для царских заводов большую группу горных специалистов, в число которых и вошёл 18-летний Иван Ползунов.

На Алтае, на Колывано-Воскресенских заводах он приступил к обязанностям гиттеншрейбера — смотрителя и учётчика при плавильных печах. В 1750 году он получает повышение - должность унтершихтмейстер – старшего смотрителя по разным частям производства и письмоводству. В 1759 году Иван Ползунов получил первый обер-офицерский чин. Изучал книги по металлургии и минералогии. Указом Кабинета от 19 ноября 1763 г. императрица, Екатерина II пожаловала изобретателя в «механикусы» с чином и званием инженерного капитан-поручика, то есть присвоила ему дворянское звание.

Известно, что в 1761 году Ползунов и другие специалисты обязаны были изучить имевшиеся на алтайских заводах книги по горнозаводскому делу, в которых описывались паровые водооткачивающие машины и в частности книгу «Обстоятельное наставление рудному делу». Из этих материалов Ползунов мог ознакомиться с принципом работы

машины Ньюкомена. Ни в Екатеринбурге, ни на Алтае машин, действующих «при помощи движущей силы огня», не было.

Ползунов понял, что можно заставить паровую машину приводить в движение не только насос, как в машине Ньюкомена, но и заводские механизмы. Проект своей машины Ползунов изложил в 1763 г. в записке, адресованной начальнику Колывано-Воскресенского горного округа Андрея Ивановича Порошину. Алтайское горное начальство в лице Порошина одобрило проект огнедействующей машины и направило его на заключение в Петербург. Президент Бергколлегии И.А.Шлаттер дал положительный отзыв на проект, хотя и высказал ряд замечаний.

В апреле 1764 по решению Канцелярии Ползунов приступил к постройке машины в 15 раз более мощной по сравнению с проектом 1763 года. Ползунову не предоставили возможности подготовить кадры и создать особые станки для изготовления отдельных частей машины. Ему пришлось заняться строительством большой машины высотой около 11 метров, не опробованной даже на модели, сразу «с листа». К декабрю 1765 года в основном строительство машины было закончено, однако испытать ее было нельзя, так как не была готова воздуходушная установка, для которой предназначался этот двигатель. Ползунов не дожидаясь пуска своей машины, он умер от скоротечной чахотки. В действие машину запустили его ученики Иван Черницын и Дмитрий Левзин.

## **2. Проект машины 1763 года**

Машина предназначалась для работы по паро-атмосферному циклу непрерывного действия для непосредственного привода заводских агрегатов – воздуходушных мехов.

Мы не можем с достоверностью воспроизвести ход мыслей И. Ползунова при его работе над проектом машины. Но, вполне вероятно, можно предположить, как он мог разработать техническое задание на этот проект. Исходными данными в работе над проектом паро-атмосферной машины были следующие:

- Рабочий процесс – принцип работы машины Ньюкомена;
- Принцип действия воздуходушных мехов – подъем за счет силы, развиваемой машиной; опускание за счет силы тяжести подвижного элемента мехов;
- Непрерывность работы, обеспечиваемая попеременной работой двух цилиндров.

Требования заказчика:

- Увеличение производительности машины;
- Минимизация энергозатрат в условиях суровой Алтайской зимы;

Соответственно, И. Ползунов особое внимание уделил следующим элементам проекта:

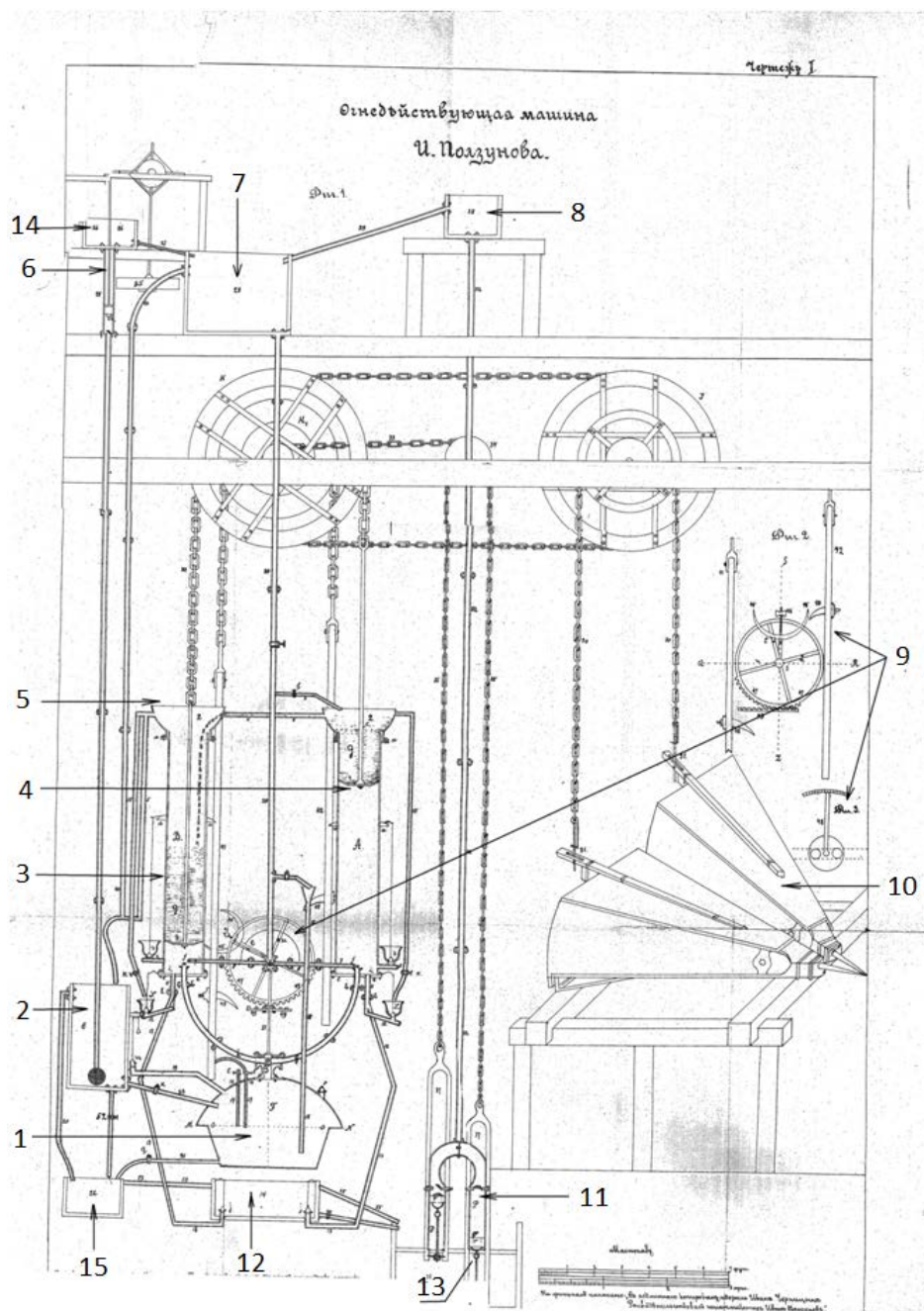
- Интенсификации рабочего процесса;

- Автоматизации попеременной работы цилиндров;
- Передаточному механизму от источника энергии к исполнительным органам;
- Обеспечению минимального расхода топлива;
- Обеспечению безопасности работы машины за счет системы предохранительных устройств.

На рис.3 приведен чертеж двухцилиндрового поршневого двигателя И. Ползунова [10]. Можно выделить следующие структурные элементы машины.

1.Рабочие органы машины:

- 3 – литые медные паровые цилиндры длиной 9 футов, внутренним диаметром 9 дюймов, толщиной стенки 0.5 дюйма;
- 4 – поршни из меди, толщиной 0.5 дюйма с прокладками из кожи, прижатые двумя кольцами к поршню;
- 5 – чаши из кованой меди, прикрепленные к фланцам цилиндров для создания гидрозатвора, высотой 5 футов, диаметром 2,5 фута, толщиной 0, 125 дюйма из кованой меди;



Фиг.3

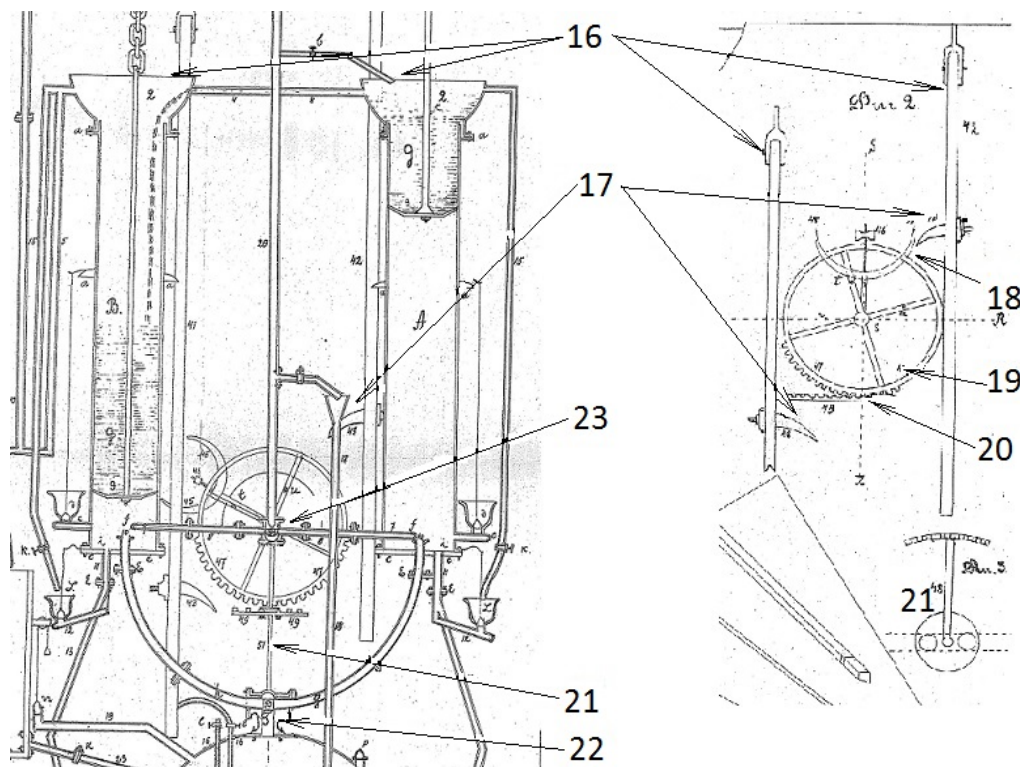
## 2.Паро- и водораспределительные системы:

1 – паровой котел из кованой меди из заклепанных и запаянных одинаковых по толщине листов меди, с регулятором пара, обеспечивающий содержание воды около 18 кубических футов, а паров – около 34 кубических футов.

Резервуары для воды – цистерна для постоянной подачи воды во время работы (13), резервуары, расположенные в верхней части (7, 8). В резервуар 8 насос 11 подает воду из цистерны 13 в рабочем режиме. Резервуар 7 служит для постоянного обеспечения водой всех агрегатов машины во время работы. Деревянный – теплоизолированный – запасной бассейн 2 служит для сбора излишков нагретой вода

из чаш и для заполнения котла нагретой водой после вынужденной остановки работы машины. Резервуары **14** и **15** служат для сбора излишков воды в системе.

### 3. Системы управления (фиг. 4)



Фиг. 4(п. 9, фиг. 3)

Для автоматизации попеременной работы цилиндров Ползунов предложил следующую систему. Два деревянных бруса **16** с продольной прорезью приводятся в движение цепью, перекинутой через шкив, сидящий на одном валу с ведущим шкивом. В прорезях брусьев закреплены клиновидные упоры **17**. Они попеременно зацепляют серповидный рычаг **18**, соединенный с зубчатым сектором **19** торцевой передачи. На ведомом секторе **20** закреплен рычаг **21**, который переключает двухпозиционный регулятор подачи пара **22** и воды **23**. Переключение происходит практически мгновенно за счет инерционного устройства, не показанного на чертеже.

### 4. Системы диагностики и контроля включает:

- Аварийный клапан, установленный в верхней части котла,
- Система регулируемых предохранительных свинцовых клапанов;
- Клапаны на трубках в полостях цилиндров, служащие для удаления избыточного воздуха в рабочих полостях цилиндров.

5.Передаточный механизм служит для передачи движения от штоков поршней цилиндров паро-атмосферной к рычагам воздухоудных мехов. Принцип работы передаточного механизма очевиден из фиг.3. Здесь следует добавить, что на валу ведущего шкива расположен шкив, обеспечивающий работу системы управления, и шкив, обеспечивающий работы насосов в рабочем режиме.

6.Исполнительные органы – воздухоудные меха. Нагнетание воздуха в магистраль осуществляется за счет силы тяжести подвижных элементов мехов.

### **3.Особенности конструкции машины**

#### Достижение эффективности рабочих процессов.

- Интенсивность падения давления в цилиндрах достигается дроблением об дно перемещающегося поршня тонкой струи воды из малого отверстия в боковой стенке трубы. Это позволяло сохранить на протяжении всего рабочего такта высокую и сохраняемую интенсивность испарения;
- Для гарантии сводного входа паров в цилиндры срез выходного сечения пароподводящих труб в цилиндрах сделан на 3-4 дюйма выше дна,
- Для слива конденсата в емкость **14** предусмотрены трубы с обратным клапаном на конце;
- Коммуникации труб выполнены так, чтобы исключить образование воздушных пузырей на всех этапах ее работы.

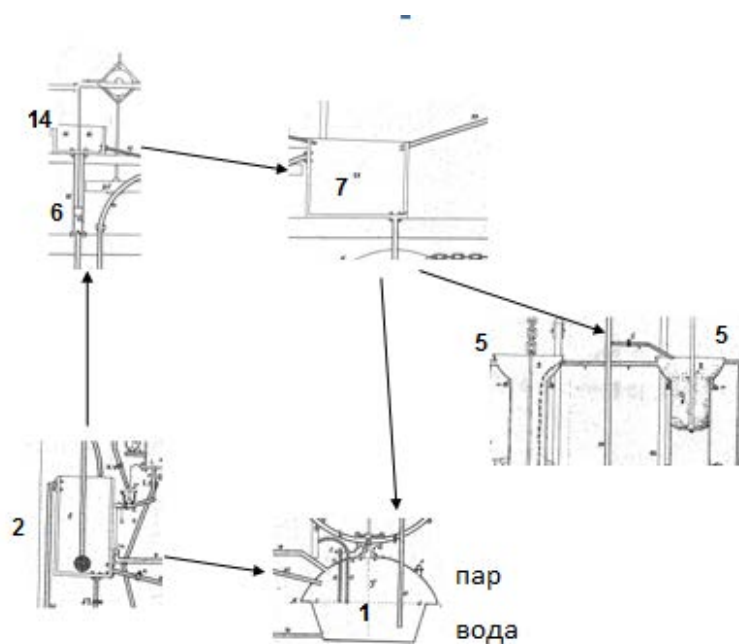
#### Минимизация энергозатрат

Суровые Алтайские, Сибирские или Уральские зимы приучали ценить тепло. Ведь зимой было не только холодно, но и трудно добыть и привести дрова к месту потребления. Заказчики требовали у Ползунова сделать экономной эксплуатацию машины. Он должен был показать, сколько дров надо для работы машины. Поэтому Ползунов предложил и реализовал систему рекуперации воды, затраченной на испарение и нагрев.

В машине Ползунова воздух попадал в воду при создании разряжения в цилиндрах при конденсации пара порциями воды. Очистка воды от воздуха эффективнее всего проводить на линии насыщения воды, при которой давление паров соответствует температуре кипения. В паровоздушной смеси компонент «Воздух» создает превышение давления смеси над парциальным давлением воды. Во избежание этого Ползунов предусмотрел клапан,

сбрасывающий избыточное давление. Таким образом, Ползунов осуществил дегазацию паровоздушной смеси, поступающей в цилиндр. С позиций современности он реализовал процесс деаэрации воды, то есть её очистки от присутствующих в ней нежелательных газовых примесей (фиг.4). В этом смысле циркуляционных систем современных ТЭЦ. В первую очередь это касалось системы запуска машины.

#### Запуск машины (фиг. 5)



Фиг. 5

- Ручным насосом 6 теплая вода из деревянного бака 2, установленного в помещении, то есть с теплой водой, нагнетается в бак 14 (1-я ступень дегазации);
  - После дегазации в этом баке вода поступает в бак 7, откуда по трубе через ручные запорные вентили заполняет весь водяной контур машины без воздушных пробок и котел до уровня М..Н. Уровни воды в цилиндрах контролируются по стеканию воды из чаш гидрозатвора 5 в бак 12 (фиг.3) по трубке;
  - Теплая вода из бака 12 сливается в цистерну 13 (фиг.3), обеспечивающую работу насоса рабочего режима 1 (фиг.3).
  - Контроль процесса – визуальный. По окончании все краны закрываются вручную;
  - После заполнения водой всей системы в емкости 2 должен остаться слой воды высотой минимум на 1 фут.
- Результат: деаэрация и исключение воздушных пробок в системе. Машина готова к запуску.

### Рабочий режим

• Разжигается топка и начинается нагрев бака с теплой водой, что ускоряет время выхода двигателя на рабочий режим.

• По достижении нужной температуры пар поступает в один из цилиндров. Одновременно во второй цилиндр впрыскивается вода из бака 7;

- Начинается движение поршней;
- За счет движения поршней включается насос 1, берущий воду из бака 13;
- Насос 1 качает воду в бак 8, из которого вода поступает в бак 7.

Цикл завершен, Машина перешла в режим самообеспечения водой. Реализован замкнутый цикл водоснабжения системы.

Итак, как это принято в современных ТЭЦ, система управления реализует:

- 1) автоматизацию работы всей силовой установки в целом ,
- 2) утилизацию тепловых потерь через организацию замкнутого цикла использования воды.

Проект был в целом одобрен, однако, ряд замечаний, связанных с конструкцией передаточного механизма, некоторых элементов паро- и водораспределительных систем, систем управления и диагностики заставили И. Ползунова предложить новый проект, который и был принят к исполнению.

В России в ряде научных центров и музеях были изготовлены действующие модели этой машины (Барнаул, Одесса и т.д.). На фиг.6 приведена фотография действующей модели, выставленной в Государственном политехническом музее (Москва).



Фиг. 6

#### **4.Машина 1766 года (даты приведены по [1, 2, 7, 10])**

- В январе 1764 года было принято решение о постройке машины с учетом замечаний, выдвинутых при обсуждении проекта машины 1763 года.
- В марте 1764 года была подана заявка на материалы для изготовления машины. 7 декабря 1765 года была закончена сборка двигателя и проведен пробный пуск.
- В начале мая 1766 года начата постройка воздухоудных мехов и трех плавильных печей.
- 27 мая (по новому стилю) Ползунов скончался.
- 3 июня проведено 1-е испытание машины.
- 24 июня проведено 2-е испытание машины.
- 27 июля проведено 3-е испытание машины.
- 6 июля проведено 4-е испытание машины.

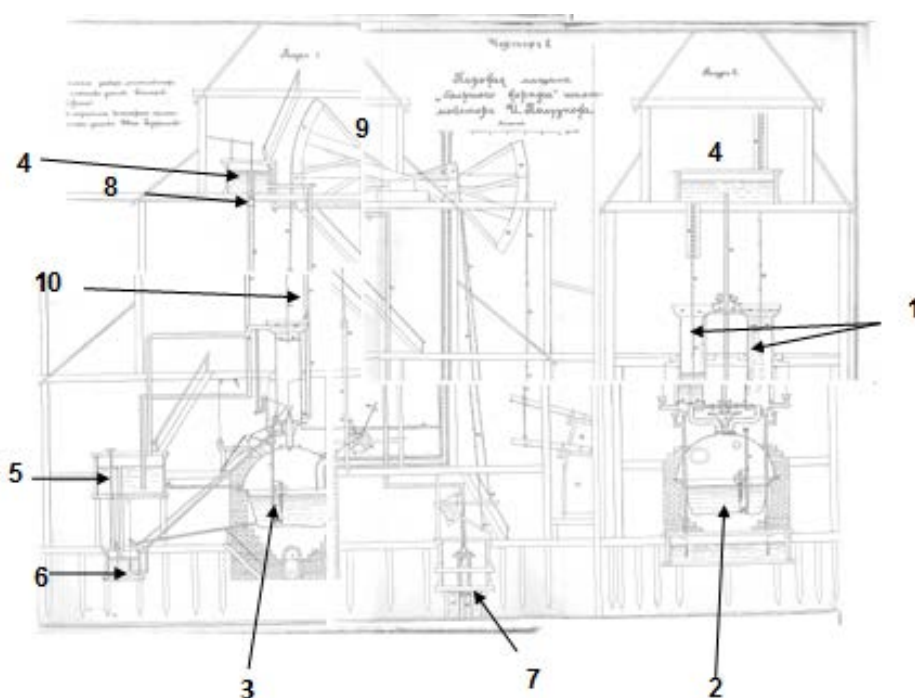
- 15 июля – пробный пуск машины.
- Июль–август – построены 3 плавильные печи при машине.
- 18 августа – машина вступила в действие по обслуживанию дутьем 3-х плавильных печей.
- 21 ноября машина остановлена из-за аварии котла.
- 31 марта 1782 года машина была разобрана.

В общей сложности машина проработала 1057 часов, воздух в плавильные печи подавался 1023 часа. За это время расплавлено руды 9037 пудов 10 фунтов. При расплавке тех руд получено:

- Серебра – 14 пудов 38 фунтов 17 золотников 42 доли;
- Золота – 14 фунтов 22 золотника 75 долей

Общие затраты составили 18471 рублей 62 копейки, из них чистая прибыль составила 11016 рублей 101/4 копейки.

На рис. 7 приведен чертеж паровой машины И. Ползунова [10]. Чертеж был сделан после её сооружения и без его комментариев, так как он полагал, что будет решать некоторые вопросы конструирования машины в процессе ее эксплуатации.



Фиг. 7

Принципиально новый проект можно считать развитием проекта 1763 года с рядом принципиальных нововведений и улучшенными конструктивными элементами, отвечающими конкретным технологическим и иным условиям изготовления машины. Как и для проекта 1763 года можно выделить следующие структурные элементы машины.

### Рабочие органы машины – цилиндры и поршни (1)

- Литые медные паровые цилиндры длиной 9 футов, внутренним диаметром 9", (высота 2,77 м, диаметр 0,81м) толщиной стенки 0.5" с радиальным зазором в среднем около 15 мм.
- Поршни из меди, толщиной 0.5" с уплотнениями из насосной кожи. Кожа зажата винтами и приклепанными к поршням пружинами. Это решение не обнаружено на чертежах.
- Чаши из кованой меди, прикрепленные к фланцам цилиндров для создания гидрозатвора.

Паровой котел (2) имел диаметр порядка 3,5м с толщиной стенок 15 мм и вмещал 7 тонн воды. В отличие от проекта 1763 года, введен поплавковый регулятор уровня воды в котле (3). Кроме того, предусмотрен регулируемый предохранительный клапан.

Основные звенья водяной коммуникации:

- три водяных резервуара (4, 5, 6);
- цистерна для подачи воды и главные питательные насосы (7);
- Система труб со стаканами, кранами и вентилями;
- Вспомогательный ручной насос (8).

В отличие от проекта 1763 года Ползунов вместо трёх верхних резервуаров оставил один, а вместо ранее применявшихся трех нижних резервуара оставил два. В принципе последовательность питания машины при пуске и в рабочем режиме осталась прежней.

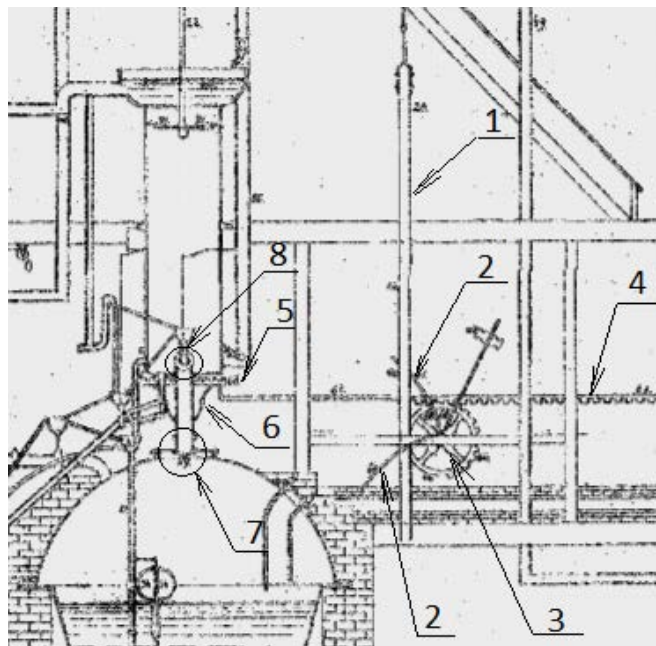
### Передаточный механизм:

В отличие от проекта 1763 года И.Ползунов использовал балансиры (9) вместо шкивов. Это позволило существенно уменьшить вертикальный габарит машины. Балансиры размером 23 фута (8,5 м) стали двух плечами. Обычные железные цепи (цепи - circuitry) Ползунов заменил стержнями прямоугольного сечения (10), шарнирно соединенными болтами, воспроизводя известную сейчас форму цепей, появившихся только в 70-х годах XVIII века. Это решение имело следующие преимущества: поставленные на ребро пластины лучше прилегали к поверхности дуги балансира и работали без грохота; их легче изготовить, отремонтировать, обеспечить прочность; такая цепь удобна при линейных усилиях и малых скоростях; меньше узлов трения и они экономны для контролируемой смазки.

### Паро-водораспределительный механизм – система управления (фиг. 8):

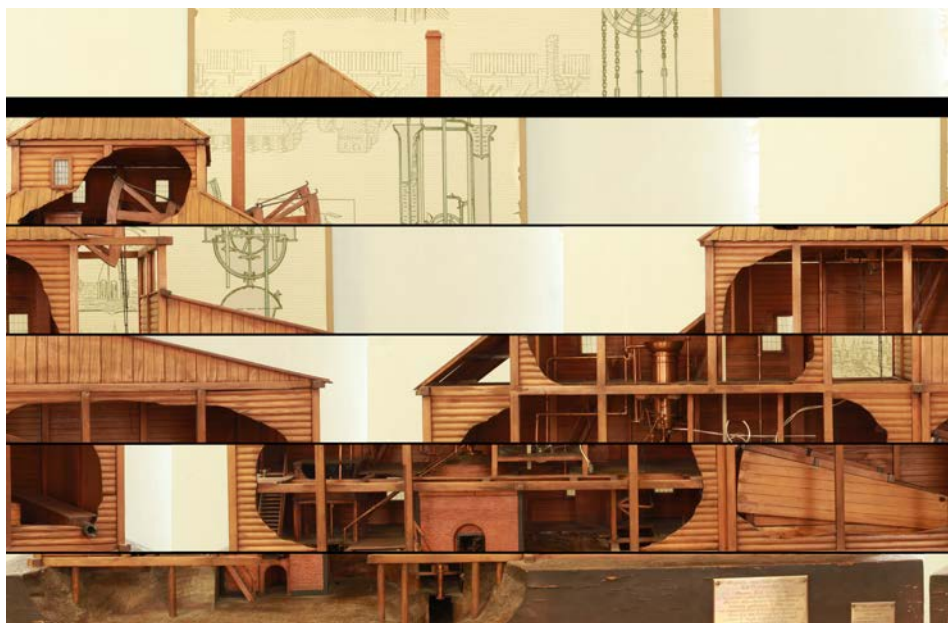
На цепи, отходящей от балансира, перемещается брус с продольной щелью 1. В пространстве щели проходят две металлических дуги 2, сдвинутых относительно друг друга. Дуги закреплены на оси зубчатого сектора 3. Зубья сектора находятся в зацеплении с

рейкой 4. Её конец соединен с шестерней 5, сидящей на валу 6 парораспределительного вентиля 7 и находящейся в зацеплении с шестерней 8 крана переключения подачи воды 9.



Фиг. 8

В России в ряде научных центров и музеях были изготовлены действующие модели этой машины (Барнаул, Одесса и т.д.). На фиг.9 приведена фотография модели машины 1766 года, выставленной в Государственном политехническом музее (Москва).



Фиг. 9

**Заключение** – сравнительная характеристика параметров проекта машины 1763 года и машины 1766 года [10]

|                                                                                                      | Проект машины 1763 года | Машина, построенная в 1766 году |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>I. Котельная установка</b>                                                                        |                         |                                 |
| 1. Общая высота котла                                                                                | 4 фут/1.22 м            | 8.8 фут/2.68 м                  |
| 2. Объём водяного пространства                                                                       | 18 куб.фут/0.51 м.куб   | 244 куб.фут/6.9 м.куб           |
| 3. Объём парового пространства                                                                       | 34 куб.фут/0.96 м.куб   | 322 куб.фут/9.1 м.куб           |
| 4. Общий объём котла                                                                                 | 52 куб.фут/1.47 м.куб   | 566 куб.фут/16 м.куб            |
| 5. Максимальное давление пара в котле                                                                | 0.26 ати                | 0.17 ати                        |
| 7. Толщина стенок котла                                                                              | 1/5 дм                  | 3/5 дм                          |
| <b>II. Собственно паро-атмосферная машина</b>                                                        |                         |                                 |
| 1. Диаметр цилиндра                                                                                  | 0.75 фут/0.21 м         | 2.65 фут/0.81 м                 |
| 2. Полная высота цилиндра                                                                            | 9 фут/2.74 м            | 90.1 фут/2.77 м                 |
| 3. Площадь поршня                                                                                    | 64 кв.дм/0.04 кв.м      | 706 кв.дм/0.48 кв.м             |
| 4. Ход поршня                                                                                        | 6 фут/1.82 м            | 8.4 фут/2.56 м                  |
| 5. Возможная мощность машины                                                                         | 2.6 л.с.                | 40л.с.                          |
| <b>III. Воздуходувная установка</b>                                                                  |                         |                                 |
| 1. Полная длина воздуходувного меха                                                                  | 9.9 фут/3.02 м          | 31.5 фут/9.6 м                  |
| 2. Высота подъёма рукояти воздуходувного меха                                                        | 1.7 фут/0.52 м          | 4.5 фут/1.37 м                  |
| <b>IV. Общая высота установки</b><br>(от нижнего края котла до оси вращения передаточного механизма) | 26 фут/7.92 м           | 36 фут/10.98 м                  |

**Благодарности.** Авторы благодарят студентку МГТУ им. Н.Э. Баумана Головину Анастасию за помощь в оформлении материалов статьи.

### Список литературы

1. *Алейский С.* Механик Ползунов // «Вестник промышленности», 1858.
2. *Тонков Р.Р.* Первый русский механик И.И. Ползунов / Очерк горного инженера Р.Р. Тонова. –Пг.:П.П.Сойкин, 1917. – 32с.
3. *Данилевский В.В.* И. И. Ползунов: труды и жизнь первого русского теплотехника. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 446 с. : ил.
4. *Данилевский, В. В.* Русская техника. – Л.: Лениздат, 1949. – 547 с.
5. *Спасский Г.И.* Горный словарь, -1841-1843 гг.
6. *Южаков И.* Шихтмейстер И.И.Ползунов и его паровая машина, 1906. - 90 с.

7. Барнаульский хронограф. Календарь знаменательных и памятных дат. - Барнаул, 1996. – 48 с.
8. Энциклопедия Алтайского края Т.1 / [редкол.: Мищенко В.Т. 9гл.ред.) и др.]. – Барнаул: Алт. кн. Изд-во, 1995, - 366 с.
9. Барнаул [<http://en.wikipedia.org/wiki/Barnaul>] 20.03.2013
10. Екатеринбург [<http://en.wikipedia.org/wiki/Yekaterinburg>] 20.03.2013