

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

В. Н. Юренков, А. Л. Новоселов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Анализ конструкции парового водоподъемника Вустера

Исходя из понятия иерархии технических систем, необходимо признать, что уже первый запатентованный Вустером в 1660 г. паровой водоподъемник (описан в 1663 г.) представлял собой техническую систему второго рода: имел в своем составе несколько эле-

ментов (котел, краны, вытеснительные камеры, подъемные трубы, обратные клапаны, резервуар), но его элементы в отдельности не могли даже частично обеспечить работу с объектом (водой). Таким образом, на основании описания можно выполнить анализ конструкции парового водоподъемника Вустера (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Результаты анализа конструкции парового водоподъемника Вустера

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
$K_{ТР}$	Подъем столба воды давлением пара за счет вытеснения из камеры	Сильная конденсация пара на поверхности воды, большие потери тепла
$K_{НИ}$	Новизна конструктивного решения, перед прежде существовавшими, в отделении котла	Среда пара и среда воды не разделены поршнем, двигатель слит с орудием
$K_{СО}$	Вытеснительные камеры, напорные трубы, краны и клапаны	Ручное управление кранами, отсутствие автоматического регулирования
$K_{ПЭ}$	Получение непрерывного потока откачиваемой воды	Кoeffициент полезного действия не выше 0,1 %
$P_{ОМ}$	Обеспечение конструкции кирпичом, металлом, углем, водой	Отсутствие технологий получения сложных отливок из металла
$P_{ОТ}$	Существовали технологии литья из металла, кузнечные технологии	Несовершенство отливок котла, кранов, труб
$P_{ЭР}$	Использование добываемого каменного угля	Неприспособленность к многотопливности
$P_{К}$	Начальные понятия теплотехники	Отсутствие опыта создания паровых машин
$M_{ОН}$	Описана «сила пара» Саломоном де Ко, открыто атмосферное давление Э. Торричелли (1650), закон гидростатики Б. Паскалем (1653), закон Бойля-Мариотта (1662)	Не сформулированы понятия теплоемкости, теплопередачи
$M_{ПБ}$	Измерительная база примитивна	Не существовало даже термометров
$M_{ТР}$	Тепловые расчеты отсутствовали. Практика базировалась на представлении об «упругой силе пара»	Ученые принимали пар за воздух, считая, что из одного объема воды можно получить 14000 объемов пара (вместо 1700)
$M_{МИ}$	Базой испытаний могла быть только сама паровая водоподъемная установка	Машина Вустера не строилась. Методик не упоминается
$T_{Э}$	Энергоемкость воды 98,1 Нм/кг (10 м), 1 кг угля – 31400 кДж/кг и его энергоемкость – 30 млн Нм/кг	Низкий к.п.д. ввиду несовершенства конструкции
$T_{У}$	Отход от потока воды	Машина только для подъема воды

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

Продолжение таблицы 1

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
T_A	Установка не подведена к потоку воды	Установка привязана к шахтам
T_M	Массовая мощность возрастала по сравнению с ветряными и водяными двигателями за счет увеличения давления паром ~ в 1000 раз	Использовался пар низкого давления
C_T	Технологичность изготовления за счет простых элементов, но изготовления не было	Нетехнологичность создания паровой арматуры
C_M	Материалоемкость допустимая за счет использования кирпича и других материалов	В установке планировалось использование только известных материалов
C_{TP}	Трудоемкость ниже, чем при сооружении двигателей, работающих от воды	Трудоемкость высока за счет капитальных сооружений
$C_Э$	Энергоемкость для изготовления ниже, чем для водяных колес	Энергоемкость достаточно высока за счет использования металлического литья
$Э_{BC}$	Подъем воды из шахт не требует ее подогрева	При отрицательных температурах затруднен водоотвод
$Э_{MT}$	В печи котла можно использовать любое твердое топливо	Использование угля приводит к разрушению сводов печи
$Э_{CO}$	Нет необходимости в специалистах высокой квалификации	Управление кранами вручную ведется интуитивно
$Э_{БЭ}$	Нет движущихся механизмов и деталей	Возможность взрыва котла от перегрева пара

Паровой водоподъемник Вустера при всех указанных в таблице 1 недостатках, как ступень развития теплотехнической мысли имел преимущества, обеспечивающие его приоритетность на момент создания. К ним мы можем отнести следующие:

1. Подъем столба воды давлением пара за счет вытеснения ее из камеры (заимствовано у Д. делла Порта (1601 г.), использование силы водяного пара заимствовано у Саломона де Ко (1623 г.);

2. Отделение котла от рабочей полости вытеснительной камеры;

3. Сочетание вытеснительных камер, рабочих напорных труб, кранов и клапанов, обеспечивающих подъем воды в одну сторону (использование свойства пара конденсироваться заимствовано у Д. Кардано (середина XVI в.);

4. Получение непрерывного потока воды, откачиваемой из шахт.

Перечисленные признаки являются по формулировке определяющими разработку Вустера на момент ее создания как изобретение.

В условиях отсутствия начальных понятий теплотехники, теплоемкости и теплопередачи при существовании примитивной *ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №3 2009 Том 1*

мерительной базы, теории тепловых расчетов автор предвосхитил развитие науки и осуществил в проекте переход от энергии воды к энергии тепла.

Последнее является особенно важным. Одним из основных недостатков явилась подача воды, поднимаемой из шахт, на колесо, к.п.д. которого являлось низким. Этим объясняется, как и привязанность к водоподъему, невозможность универсального использования паровой машины Вустера. Вустер не определил значение использования по аналогии устройства известного ранее поршневого воздушного насоса для использования в нем давления пара для осуществления движения поршня (1650 г.), не учел опыта создания пороховых ракет, изобретенных ранее в Китае.

Тем не менее, несомненна его заслуга, как создателя двигателя, использующего энергию пара для получения работы.

Анализ конструкции парового водоподъемника Томаса Севери

Томас Севери в Англии в 1698 г. получил патент в исключительно широкой форме на использование теплоты для подъема воды и «мельниц всякого рода» и тем самым претендовал на изобретение универсального двига-

теля. Устройство содержало вытеснительную камеру, в которой шло расширение пара, поэтому она являлась двигателем. Здесь же

шло вытеснение воды, поэтому ее можно считать и орудием (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты анализа конструкции парового водоподъемника Т. Севери

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
$K_{ТР}$	Подъем столба воды избыточным давлением пара и с использованием вакуума	Медленная конденсация пара, тихоходность
$K_{НИ}$	Использование увеличенного теплоперепада. Попеременная работа 2-х камер	Охлаждение периодическое внешнее обливанием водой цилиндров
$K_{СО}$	Охлаждение вытеснительной камеры водой	Ручное управление системой охлаждения
$K_{ПЭ}$	Увеличение к.п.д. установки до 0,3 % Камера периодически превращалась в конденсатор	Низкая экономичность
$P_{ОМ}$	Обеспечение конструкции топливом, водой, кирпичом и металлами	Отсутствие технологий сложных отливок и механической обработки заготовок
$P_{ОТ}$	Существовали технологии отливок в пушечном производстве, кузнечные технологии	Несовершенство больших габаритных отливок и изготовления арматуры
$P_{ЭР}$	Использование добытого каменного угля	Неприспособленность к другим видам топлива
$P_{К}$	Использование идей воздушного насоса, законов расширения газов в зависимости от температур. Опыт создания паровых машин	Опыт создания паровой машины Вустера был недостаточным (ее не изготовили)
$M_{ОН}$	Известны законы Паскаля, Бойля-Мариотта, Ньютона	Отсутствовал термометр, законы Ломоносова, понятие об удельной теплоте парообразования, закона Шарля, цикла Карно
$M_{ПБ}$	Примитивная база измерений	Отсутствие приборов для теплотехнических измерений
$M_{ТР}$	Приблизительные тепловые расчеты	Те же недостатки, что и для разработок Вустера
$M_{МИ}$	Появление базы испытаний в составе водоподъемной установки	Методик расчетов не упоминается. Интуитивность при создании конструкции
$T_{Э}$	Расход топлива составлял 109-136 кг/(кВт·ч)	Значительный расход топлива, низкая топливная экономичность
$T_{У}$	Сделано предположение в патенте на привод «мельниц всякого рода»	Не использовался механизм превращения энергии, например, коленчатый вал. Вода подавалась на колесо
$T_{А}$	Установка осталась не разделенной на двигатель и орудие	Установка осталась привязанной к водоподъемнику или к колесу и потери составили 1/3 и 2/5
$T_{М}$	Установка втрое экономичнее установки Вустера за счет использования вакуума и увеличения теплоперепада	Высокая удельная масса машины
$C_{Т}$	Появилась возможность оценить технологичность изготовления машины	Нетехнологичность изготовления котла с вытеснителями воды

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

Продолжение таблицы 2

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
C_M	Материалоемкость осталась как у Вустера	Отсутствовали расчеты по оптимизации
C_{TP}	Трудоемкость изготовления осталась приблизительно той же, что и у Вустера	Сообщений в литературе нет
$C_Э$	Энергоемкость определяется применяемыми материалами для котла	Сообщений в литературе нет
$Э_{BC}$	Всесезонность использования определяется температурой воды в шахте	Не учитывались климатические условия местности использования
$Э_{MT}$	Предполагалось использование любого твердого топлива	Не предполагалась многотопливность
$Э_{CO}$	Снижена сложность в обслуживании за счет установки клапанов в систему подъема	Регулировка уровня воды в котле осуществлялась вручную
$Э_{БЭ}$	Использовался пар давлением в одну атмосферу	Не регулировался уровень давления пара в котле

Оригинальность технического решения Т. Севери состояла в использовании вакуума при подъеме столба воды избыточным давлением пара. Новизна конструкции заключалась в использовании увеличенного теплоперепада и осуществлении попеременной работы двух камер. Существенное отличие заключалось в охлаждении вытеснительных камер, что способствовало более интенсивной конденсации пара. Последнее обстоятельство, связанное с превращением периодически вытеснительных камер в конденсаторы, привело к увеличению к.п.д. до 0,3 %.

К моменту создания парового водоподъемника Т. Севери были известны законы Бирони о зависимости плотности воды от температуры, термоскоп Г. Галилея, открытие О. Герике силы атмосферного давления, открытие Э. Торричелли атмосферное давление, изобретен О. Герике воздушный насос, открыты Б. Паскалем закон гидростатики, Р. Бойлем – закон связи температуры и объема газов, изобретены Х. Гюйгенсом и Готфельдом пороховые двигатели и открыт Ньютоном закон всемирного тяготения.

Однако при том, что, по определению, конструкцию парового водоподъемника Севери следует признать изобретением на момент создания, он не использовал в ней поршень и цилиндр, передаточные механизмы, а установка осталась неразделенной на двигатель и орудие. Предположение об использовании ее

на привод «мельниц всякого рода» осталось только в предположении.

Т. Севери сделаны шаги и в использовании клапанов в системе водоподъема. Использовался пар давлением в одну атмосферу, а это уже сдерживало прогресс в развитии пароатмосферной техники.

Все это заставило последователей искать пути повышения к.п.д. и продолжать совершенствование в осуществлении универсальности и автономности использования.

Анализ конструкции комбинированной установки с поршневым двигателем Дени Папена

Несомненной заслугой Д. Папена было отделение котла от цилиндра. Он применил цилиндр и поршень, что было тоже прогрессивным в техническом решении. Задолго до Карно им описаны основные составляющие термодинамического цикла парового двигателя. Но в противоречие себе Д. Папен оставил по существу цилиндр котлом и одновременно конденсатором пара.

При создании машины Д. Папен использовал опыт предшественников и собственный опыт по созданию пороховых двигателей. В машине не использовался вакуум для улучшения наполнения – цикл разомкнулся и, вместо осуществления им же описанного цикла, машина осталась недоработанной (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты анализа конструкции парового водоподъемника Д. Папена

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
K_{TR}	Отделил котел от цилиндра	Не выделен котел, двигатель, конденсатор, насосы. Двигатель слит с насосом. Поршень не связан с грузом и мог только вытеснять воду
$K_{НИ}$	Правильно описал группу процессов термодинамического цикла парового двигателя	Цилиндр остался котлом и конденсатором. Машина тихоходна. Подача воды на колесо
$K_{СО}$	Использование предохранительного клапана	Не использовался вакуум и цикл разомкнулся
$K_{ПЭ}$	Суммирование работы – непрерывность действия 2-х камер	Только для подъема воды. Для установки поршня требовался внешний источник энергии – гидростатический напор между камерой и воронкой с водой
$P_{ОМ}$	Существовали металлы цветные и черные, дерево	Использование металлов ограничивалось технологиями отливок пушечного производства
$P_{ОТ}$	Существовали технологии отливок из стали и цветных металлов	Технологии обработки не обеспечивали изготовление цилиндров и поршней
M_{TR}	Существовало описание циклов	Не существовало теории теплового расчета паровых машин
$M_{МИ}$	Методика создания машин заимствована из опыта создания пороховых двигателей	Не существовало общей методики испытаний и оценки к.п.д. машин
$T_{Э}$	Паровая машина не описана с точки зрения топливной экономичности, но предполагается повышение последней за счет уплотнения пары цилиндр-поршень водой	К.п.д. машины не определялся
$T_{У}$	Только в эскизах Папен показал передаточный механизм с рейкой и зубчатым колесом	Машина осталась не универсальной и подавала воду на колесо, чем снижался к.п.д.
$T_{А}$	Автономность проявлялась в отрыве от источников энергии воды	Автономность полностью не обеспечивалась, т. к. машина привязана к водоподъему
$T_{М}$	Преимуществ нет	Достоверные данные об удельной массе отсутствуют
$C_{Т}$	В технологичности машина не выигрывала	Добавлялось изготовление водяного колеса
$C_{М}$	Материалоемкость преимуществ не имела	
C_{TR}	Трудоемкость преимуществ не имела	Повышение трудоемкости за счет создания водяного привода
$C_{Э}$	Энергоемкость изготовления преимуществ не имела	
$Э_{СО}$	Сложность обслуживания оставалась прежней	

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

Продолжение таблицы 3

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
Э _{БЭ}	Безопасность обеспечивалась применением парового клапана	Использовался человеческий труд по управлению

Положительным оказалось использование перегретого пара и использование клапана для сброса избыточного давления.

Паровой двигатель Д. Папена не стал универсальным, а использование его осталось в области водоподъема.

Однако по существующим признакам, характеризующим изобретения, двигатель

Д. Папена следует считать изобретением на момент создания.

Анализ конструкции паровой водоподъемной установки Томаса Ньюкомена

Создание установки относится к началу XVIII в., начало производства знаменуется 1705 г. Организовано компанией, в которую вошли Ньюкомен, Коули и Севери.

Таблица 4 – Результаты анализа конструкции паровой установки Т. Ньюкомена

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
К _{ТР}	Применение балансира для соединения поршня цилиндра со штангой рудничного колеса	Отсутствие противовеса на балансирном устройстве
К _{НИ}	Получение вакуума в полости цилиндра впрыском воды и опусканием поршня	Впрыск воды в цилиндр, потери в термодинамическом цикле
К _{СО}	Уплотнение поршней кожаными кругами. Отделение двигателя от потребителя работы, аккумуляция энергии, пружинные упорки поршня	Не полное отделение двигателя от потребителя работы
К _{ПЭ}	Поверхность воды в котле больше площади поршня, а площадь поршня насоса меньше последней; использование низких давлений пара	Невозможность привода инструментов из-за прерывности действия
П _{ОМ}	Промышленное развитие обеспечило изготовление машины из требуемых материалов	Котлы оставались медными
П _{ОТ}	Управление технологичности изготовления котлов низкого давления	Технология изготовления цилиндров предложенного Смитом в 70-х гг. XVIII в.
П _{ЭР}	С помощью привода от водяных колес осуществлялась обработка цилиндров	Основными энергоисточниками в промышленности оставались вода и ветер
П _К	Появилась квалифицированная рабочая сила	Отсутствовала станочная обработка деталей
М _{ОН}	Дополнились сведения о законах охлаждения	Не открыты основные законы теплотехники
М _{ПБ}	Приборная база позволила снять индикаторную диаграмму, определить рабочее давление на поршень 0,5 кг/см ²	Приборную базу можно считать недостаточной
М _{ТР}	Существовали приблизительные расчеты	Отсутствие представлений по основам теплотехники
М _{МИ}	В методике исследований появилось индцирование полостей цилиндра	Отсутствие методов определения индикаторного к.п.д. машины

Продолжение таблицы 4

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
T_{Σ}	Введено по 2-3 котла на цилиндр и расход топлива составил 13,6 кг/кВт·ч	Не самим Ньюкоменом, а Смитомом позже, в момент создания машины И. И. Ползунова
T_{γ}	Преобразование энергии в передающем устройстве	Сохранение возвратно-поступательного движения
T_A	Существовала автономность относительно энергии воды	В машине двигатель привязан к насосу и без него не мог работать
T_M	Удельная масса установки увеличилась за счет балансиров	Удельная масса установки увеличена за счет балансиров
C_T	Улучшение технологичности изготовления цилиндров	Процесс коснулся только отливок
C_M	Снижение материалоемкости за счет перехода на низкое давление	Материалоемкость увеличена за счет изготовления балансиров
C_{TP}	Трудоемкость изготовления котлов и цилиндров снижена	Увеличена трудоемкость за счет изготовления балансиров
C_{Σ}	Энергоемкость снижена за счет упрощения технологий	
\mathcal{E}_{BC}	Всесезонность использования обеспечивалась привязкой к шахтам	Климатические условия эксплуатации не были учтены
\mathcal{E}_{MT}	Сведений о расширении многотопливности нет	Использование древесного угля
\mathcal{E}_{CO}	В 1718 г. Г. Брайтон ввел в конструкцию паро-водораспределительный механизм и автоматизировал процесс	Не является заслугой Ньюкомена-Коули
$\mathcal{E}_{БЭ}$	Применение пароатмосферного двигателя делало его взрывобезопасным	

Водоподъемная установка Т. Ньюкомена является образцом использования предшествующего технического опыта. В ее конструкции налицо все признаки изобретения на момент создания:

1. Применение балансиров для соединения поршня цилиндра со штангой рудничного насоса;
2. Получение вакуума в полости цилиндра за счет впрыска воды и опускания поршня;
3. Уплотнение поршня кожаными кругом;
4. Отделение двигателя от орудия, от потребителя энергии;
5. Аккумулирование энергии;
6. Использование низких давлений пара для получения работы.

Вместе с другими данными, характеризующими ее преимущества и недостатки (таблица 4), следует отметить тот факт, что уже в начале XVIII в. впервые была снята индикаторная диаграмма в координатах P-V, определено рабочее давление, что создало условия совершенствования конструкции, привело к тому, что Т. Ньюкомен, Коули и Севери выполнили машину таким образом, что площадь воды в котле стала намного больше площади поршня. Сделана попытка исполь-

зования двух-трех котлов на цилиндр, а расход топлива (угля) составил 13,6 кг/ (кВт ч).

Но, к сожалению, преобразование энергии в передающем устройстве привело к сохранению традиционного возвратно-поступательного движения. Двигатель не мог работать в отрыве от насоса, и машина не перешла в класс универсальных.

Ошибочным было представление о том, что в результате кипения воды из 1 м³ можно получить 14000 объемов воздуха, в то время как пара получается теоретически только 1700 объемов.

Анализ конструкции паровой насосной установки Якоба Леупольда (1724 г.)

Отличительной особенностью машины Я. Леупольда являлось наличие двух цилиндров. Это была попытка суммирования энергии, получения непрерывной работы. Но попытка не была осуществлена.

Вторая отличительная особенность – передача энергии на один вал (таблица 5).

Ввиду несущественного отличия машин Тривальда и Поттера анализ по их конструкциям не выполнялся.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

Таблица 5 – Результаты анализа конструкции паровой установки Я. Леупольда

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
К _{ТР}	Наличие двух цилиндров	Метод суммирования не осуществлен, тихоходность
К _{НИ}	Попытка передачи энергии на один вал	Кинетическое механическое аккумулярование энергии оказалось безуспешным
К _{СО}	Использование четырехходового крана в парораспределении	Двигатель не мог быть отделен от насоса. Двигатель слит с потребителем – насосом
К _{ПЭ}	Использование пара избыточного давления	Движение поршней вниз за счет заливки их свинцом – механического аккумулярования
П _{ОМ}	Обеспеченность цветными металлами и сталью	Продолжение использования дерева на механизмы передачи
П _{ОТ}	Разработаны технологии механической обработки	Остается привод от водяного колеса
П _{ЭР}	Энергетические ресурсы воды	Недостатки как у предшественников
П _К	Квалификация рабочих повышена в связи с выделением металлообработки	Отсутствие базы точных измерений в обработке
М _{ОН}	Известны работы Д. Кардано, Д. делла Порта, Саломона до Ко, Гюйгенса, Герике, Галилея, Бойля, Ньютона	Не восприятие полезности осуществления замкнутого цикла машины
М _{ПБ}	Существуют термометр, пирометр Фаренгейта, приборы линейных измерений, измерений давления	Приборная база не совершенна
М _{ТР}	Методы расчета базируются на тех же законах, что и у Ньюкомена	Отсутствие метода теплового расчета и определения термического к.п.д.
М _{МИ}	Использован предшествующий опыт	Собственных методов исследований не отмечено
Т _Э	Экономичность была выше, чем у Ньюкомена	В литературе не упоминается об экономичности
Т _У	На уровне эскизных проработок	Изыскание методов передачи энергии от двигателя к разным потребителям не имело успеха
Т _А		Преимуществ нет
Т _М		Судя по конструкции, преимуществ не было
С _Т		Технологичность машины оставалась на уровне машины Ньюкомена
С _М		Материалоемкость машины была на уровне машины Ньюкомена
С _{ТР}		Сведений о трудоемкости изготовления нет
С _Э		Энергоемкость изготовления была высокой. Котел высокого давления изготовлялся сложнее
Э _{ВС}		Всесезонность использования не изменялась

Продолжение таблицы 5

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
Э _{МТ}		Использовался уголь
Э _{СО}	Сложность обслуживания снижалась за счет введения 4-ходового крана	Другие операции обслуживания оставались ручными
Э _{БЭ}		Безопасность снижалась за счет использования пара высокого давления

Анализ конструкции универсального пароатмосферного двигателя И. И. Ползунова (второе решение)

Таблица 6 – Результаты анализа конструкции двигателя И. И. Ползунова

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
К _{ТР}	Введение 2-х цилиндров, работающих на один вал. Автомат питания котла	Не использована идея подачи пара с двух сторон поршней
К _{НИ}	Парораспределительный механизм, управляющий подачей воды и пара на основе зубчатых передач	Не использован золотник парораспределения
К _{СО}	Автоматический регулятор. Отказ от «водяного руководства», суммирование энергии 2-х цилиндров	Отсутствие конденсатора паров воды
К _{ПЭ}	КПД машины оценивают в 3,5 %.	Недостаточно внимания уделено снижению механических потерь в паре «поршень-цилиндр»
П _{ОМ}	Обеспеченность цветными и черными металлами	Использование меди для изготовления котла
П _{ОТ}	Технологии обработки камня (точение) использованы для обработки деталей	Привод от энергии воды с низким к.п.д.
П _{ЭР}	Использование плотин для получения энергии	Зависимость от климатических условий
П _К	Подготовка квалифицированных рабочих осуществлена самим автором	Нехватка инженерных кадров
М _{ОН}	Известны работы от Леонардо да Винчи до Д. Блэка. Работы Ломоносова могли лечь в основу создания	Нет работ Ж. Шарля, С. Карно
М _{ПБ}	Приборная база относительно сформирована	Нет специальной измерительной аппаратуры
М _{ТР}	Вычисления И. И. Ползунова содержат элементы теплового расчета	Термический к.п.д. не определен, цикл С. Карно не осуществлен
М _{МИ}	Просматривается попытка создания методики теплового расчета	Методика не совершенна и не заканчивается определенным индикаторным к.п.д.
Т _Э	Топливная экономичность определена	Можно говорить об использовании древесного угля. Каменный уголь приводил бы к прогоранию котла
Т _У	Двигатель мог приводить в движение орудие непрерывного действия, групповой привод агрегатов, свобода выбора направления движения	Универсальность не распространялась на транспорт

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПАРОВЫХ МАШИН

Продолжение таблицы 6

Критерии оценки	Преимущества	Недостатки
T_A	Двигатель мог быть отсоединенным от приводимого им агрегата	Речь идет о локальной автономности от агрегатов
T_M	Удельная масса снижена за счет исключения системы балансиров, подбор диаметров шкивов	Удельная масса оставалась значительной
C_M	Материалоемкость снижена за счет использования стали	Использование красной меди для изготовления котла
C_{TP}	Трудоемкость невозможно сравнить, поскольку по другим машинам сведений нет	
$C_Э$	Энергоемкость не имела значения при наличии плотин и колес	
$Э_{BC}$	Двигатель был всесезонным, так как использовал подогретую воду	
$Э_{MT}$	Подручным оставался в условиях Сибири древесный уголь	Двигатель не рассчитывался на использование каменного угля, газа, нефти
$Э_{CO}$	Сложность обслуживания снижена за счет применения автоматики управления	Отсутствие регулятора частоты вращения колес управления
$Э_{БЭ}$	Безопасность обеспечивалась клапанами сброса давления. Автоматическое наполнение котла водой	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилевский, В. В. Осуществленная мечта: О И. И. Ползунове / В. В. Данилевский. – Л., 1948. – С. 136-146.
2. Данилевский, В. В. Русская техника / В. В. Данилевский. – Л.: Лениздат, 1948. – 547 с.
3. Документы и материалы о И. И. Ползунове / Публ. подготовил А. Д. Сергеев // Ползуновские чтения 1996 года. – Барнаул; Усть-Калманка, 1996. – С. 10-20.
4. Дятчин, Н. И. Развитие инженерной науки и техники на Алтае: монография / Н. И. Дятчин. – Барнаул: Алт. кн. изд-во, 2004. – 269 с.
5. Дятчин, Н. И. История развития техники: учеб. пособие / Н. И. Дятчин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2001. – 320 с.
6. Данилевский, В. В. Творец паровой машины Ползунов / В. В. Данилевский. – М.: Молодая гвардия, 1947. – 17 с.
7. Дятчин, Н. И. Законы и закономерности техники / Н. И. Дятчин // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2002. – № 1, 2. – С. 118-128.
8. Дятчин, Н. И. История развития техники: справочное пособие / Н. И. Дятчин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. – 57 с.
9. Кутателадзе, С. С. Очерк работ русских ученых и инженеров в области котельной техники / С. С. Кутателадзе, Р. В. Цукерман. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1951. – 227 с.
10. Кутателадзе, С. С. Русские ученые – основоположники механической теории теплоты / С. С. Кутателадзе, Р. В. Цукерман // Котлотурбостроение. – 1948. – № 5. – С. 3-12.