

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

*Баранов Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент каф. АуАХ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Тел: 89132105251, e-mail: [baranowas@mail.ru](mailto:baranowas@mail.ru)*

*Павлюк Александр Сергеевич, д.т.н., профессор, зав. каф. АуАХ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Тел:89039120838, e-mail: [kafedra.AIAH@gmail.com](mailto:kafedra.AIAH@gmail.com)*

**Аннотация.** Совершенствование эксплуатационных свойств мобильных машин – одна из актуальных проблем, стоящих перед инженерами. Наиболее важными эксплуатационными свойствами являются тягово-скоростные, тормозные свойства и топливная экономичность.

С целью повышения указанных эксплуатационных свойств предложены различные конструкции элементов мобильной машины и способ, позволяющий этого достигнуть.

Представлена конструкция мобильной машины, в которой решается задача одновременного снижения воздушного сопротивления движению и повышения топливной экономичности, более интенсивного разгона мобильной машины и ее торможения, а также получения дополнительной энергии в режиме равномерного движения.

Также рассматривается возможность повышения тягово-скоростных и тормозных свойств за счет применения способа повышения коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью.

Для повышения топливной экономичности ДВС служит конструкция устройства с гидропневматическим аккумулятором для утилизации тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания, а также конструкция силовой установки гибридной мобильной машины.

В результате использования предлагаемых разработок предполагается увеличение интенсивности разгона, сокращение длины тормозного пути и повышение топливной экономичности.

**Ключевые слова:** эксплуатационные свойства, способ, гидропневматический аккумулятор, коэффициент, сцепление, шина, нагрев, энергия, силовая установка.

## THE WAYS TO INCREASE OPERATIONAL PROPERTIES OF A MOBILE MACHINE

*Baranov Alexey Sergeevich,  
Pavlyuk Alexander Sergeevich,*

**Abstract.** Improving the operational properties of mobile machines is one of the urgent problems facing engineers. The most important operational properties are traction-speed ones, braking system properties and fuel economy.

In order to improve the given properties, various designs of the mobile machine elements and the method allowing it to be achieved are proposed.

The design of a mobile machine is presented, in which the problem of simultaneous reduction of air resistance to movement and increase of fuel economy is solved, as well as the problems of more intensive mobile machine acceleration and its braking and, finally the problem of obtaining additional energy in the uniform motion regime.

Also, the possibility of increasing traction and speed and braking system properties is investigated in this paper by applying a method of increasing the tire grip coefficient.

A device with a hydropneumatic accumulator for utilizing the thermal energy of the exhaust gases of an internal combustion engine and a power plant of a hybrid mobile machine designed to improve the fuel economy of an ICE have been developed.

As a result of using the proposed developments, it is expected to increase the intensity of acceleration, shorten the length of the braking distance and increase fuel economy.

**Keywords:** operational properties, method, hydropneumatic accumulator, coefficient, grip, tire, heating, energy, power plant.

**Введение.** Эксплуатационные свойства характеризуют потенциальные возможности мобильной машины выполнять транспортную работу [4]. К наиболее важным из них обычно относят тягово-скоростные, тормозные свойства и топливную экономичность.

**Материалы и методы.** Взаимодействие мобильной машины с элементами окружающей среды происходит в основном двух видов: первого вида - наружных поверхностей конструктивных элементов мобильной машины с окружающим атмосферным воздухом, создающее аэродинамическое сопротивление, препятствующее движению и влияющее на топливную экономичность, и второго вида – колес автомобиля с опорной поверхностью. Для обеспечения движения в контакте ведущих колес с опорной поверхностью создаются тяговые силы, а для снижения скорости – тормозные силы в контакте тормозящих колес. Интенсивность разгона и торможения в основном определяется коэффициентом сцепления колес с опорной поверхностью, что ограничивает ускорения и замедления при разгоне и торможении. Это снижает средние скорости движения, увеличивает величину тормозного пути, особенно на скользких опорных поверхностях [3].

Определенные преимущества обеспечивает установка на кузове мобильной машины обтекателя. Однако даже незначительное отклонение его размеров и расположения от оптимальных резко ухудшает эффективность его работы [4].

При взаимодействии колеса мобильной машины с опорной поверхностью передаются реакции дороги, тяговые и тормозные силы, силы сопротивления качению. Тягово-скоростные и тормозные эксплуатационные свойства мобильной машины зависят от силы сцепления шины колеса с опорной поверхностью, определяемой произведением нормальной нагрузки на

коэффициент сцепления. Величина коэффициента сцепления зависит как от вида и состояния опорной поверхности, так и от конструкции пневматических шин.

Создатели шин постоянно различными способами пытаются повысить коэффициент сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью. Среди известных способов установления зависимости между рисунком протектора и коэффициентом сцепления шин, а также выбор рисунка протектора, в наибольшей степени соответствующего виду опорной поверхности [2, 5]. Недостатками таких способов является невысокая эффективность их применения. Во-первых, число рисунков протектора ограничено по сравнению с разновидностями опорных поверхностей, а во-вторых, одна и та же опорная поверхность может менять свои характеристики.

Другим способом повышения коэффициента сцепления шин является способ, основанный на деформационном нагреве шин, особенно при разгонах, торможениях и поворотах, что является следствием установления зависимости коэффициента сцепления шины от ее температуры. В среднем наибольшее значение коэффициента сцепления находится в интервале температур 60-90<sup>0</sup>С [1].

Описанный способ не всегда удобен для реализации, так как ведет к повышенному износу шин за счет повышенного проскальзывания ведущих колес мобильной машины, особенно на спортивных соревнованиях.

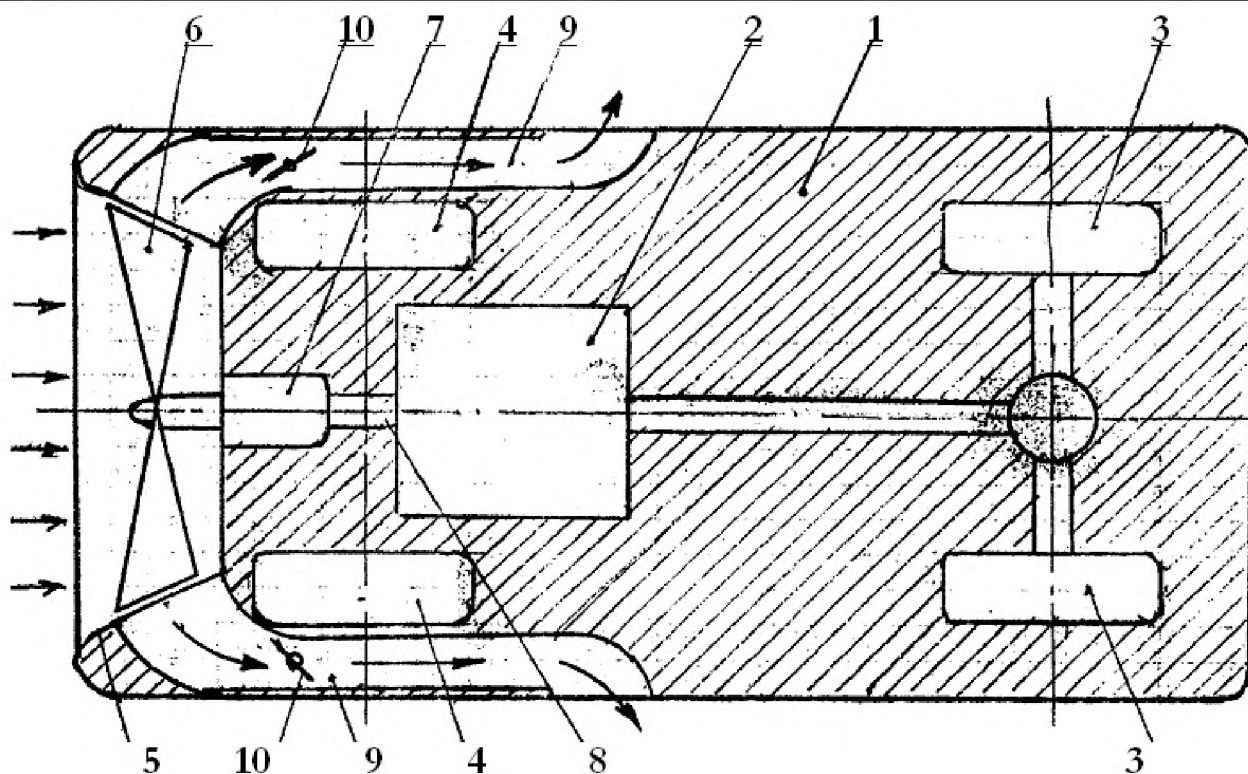
Еще одним способом повышения коэффициента сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью является способ, основанный на прогреве протектора каждой шины до повышенной температуры перед началом движения мобильной машины съемным нагревательным элементом, который представляет собой чехол, надеваемый на каждое колесо и снимаемый после прогрева шины перед поездкой [10].

Основными недостатками способа являются недостаточная эффективность нагрева, поскольку после снятия нагревательного элемента, представляющего собой чехол, температура шины понижается, и ограниченное удобство реализации, так как при одевании и снятии чехлов, а также во время прогрева движение мобильной машины невозможно.

Задачу повышения топливной экономичности пытались решить, например, с помощью применения электромагнитного привода клапанов, а также путем применения в конструкции силовой установки дополнительных устройств, например, компрессора-двигателя.

**Результаты и обсуждение.** Авторами разработана конструкция мобильной машины, в которой в определённой степени решается задача одновременного снижения аэродинамического сопротивления движению, и соответствующего повышения топливной экономичности, более интенсивного разгона и торможения, а также получения дополнительной энергии в режиме равномерного движения [7].

Предложенная конструкция поясняется рисунком, на котором показано расположение и взаимодействие устройств на мобильной машине. На рисунке сделаны следующие обозначения:



1 - кузов, 2 - двигатель, 3 – ведущие колеса, 4 – управляемые колеса, 5 - кожух, 6 – реверсивный вентилятор, 7 – двигатель-генератор, 8 - муфта, 9 – боковые каналы, 10 – регулировочные заслонки

Рисунок 1 – Расположение взаимодействующих частей на мобильной машине с повышенными эксплуатационными свойствами

Для решения поставленной задачи в передней части мобильной машины с повышенными эксплуатационными свойствами установлен в кожухе реверсивный вентилятор. Двигатель-генератор связан с отключаемой муфтой, в свою очередь, связанной с двигателем, а кожух соединен проложенными вдоль кузова каналами, снабженными регулировочными заслонками, с атмосферой.

Интенсификация разгона автомобиля при работе вентилятора в тяговом режиме объясняется его связью с двигателем-генератором при отведении потоков воздуха по каналам в атмосферу.

Сокращение тормозного пути при работе вентилятора в тормозном режиме также объясняется его связью с двигателем-генератором при заборе потоков воздуха по каналам из атмосферы.

Получение дополнительной энергии за счет набегающего потока воздуха в режиме равномерного движения объясняется тем, что при работе введенного в мобильную машину двигателя-генератора в режиме генератора вентилятор вращается от набегающего потока воздуха, а полученная энергия направляется в трансмиссию.

Работа мобильной машины происходит следующим образом. При равномерном штатном движении автомобиля встречный поток воздуха вращает колесо вентилятора 6, крутящий момент которого вращает двигатель-генератор 7 в режиме генератора, отдающий энергию в трансмиссию, или передается непосредственно на двигатель 2 трансмиссии. Потоки воздуха из кожуха 5 отводятся по каналам 9 наружу, для достижения наилучшего результата по снижению сопротивления воздуха за счет регулировок направления и расхода при помощи заслонок 10.

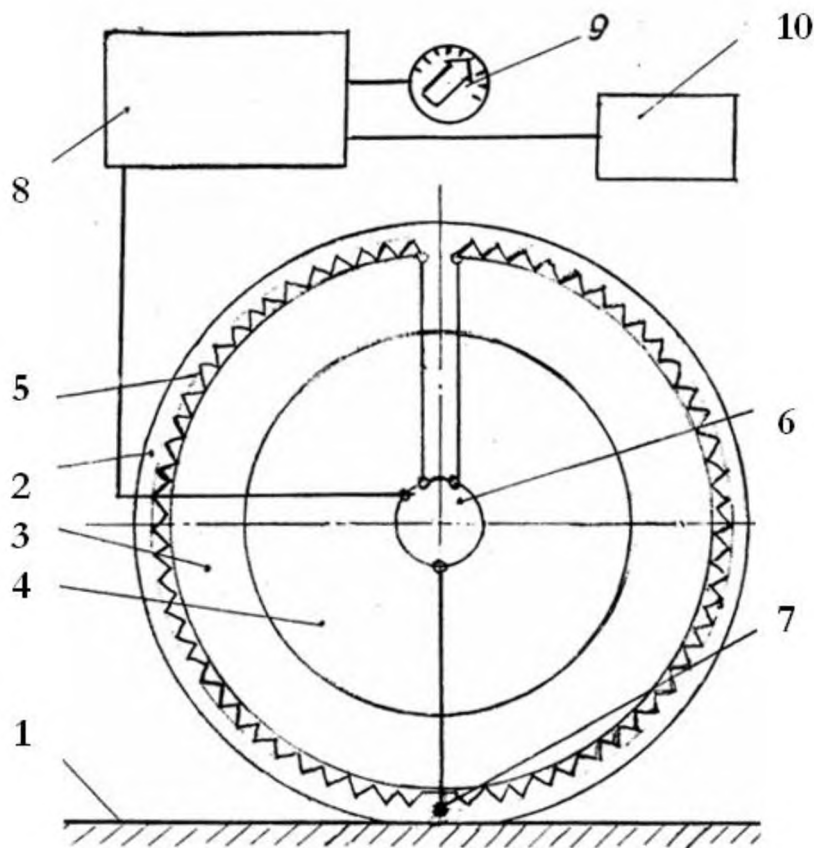
Для получения более интенсивного разгона вентилятор 6 работает в тяговом режиме за счет двигателя-генератора 7. Потоки воздуха отводятся так же, как и при равномерном штатном движении мобильной машины.

При экстренном торможении и при торможении на скользкой опорной поверхности вентилятор 6 при вращении от двигателя-генератора 7 или двигателя 2 мобильной машины направляет поток воздуха вперед, забирая его из атмосферы через боковые каналы 9, заслонки 10 при этом полностью открыты. Направления потока воздуха меняются на противоположные.

Также авторами разработан способ, позволяющий повысить коэффициент сцепления при движении мобильной машины и использующий источник энергии на самой машине [8].

Способ основан на установке нагревательного элемента каждой шины мобильной машины стационарно под протектором шины. Каждый элемент соединяется с автономной электрической цепью мобильной машины и осуществляет прогрев протектора шины в режиме либо ручного управления включения-выключения нагрева, либо автоматического управления для достижения заданного диапазона температуры, либо автоматического включения от соответствующего датчика, например в режиме экстренного торможения или разгона.

На схеме (рисунок 2) изображено использование способа повышения коэффициента сцепления шины колеса мобильной машины с опорной поверхностью.



1 – опорная поверхность; 2 – протектор шины; 3 – шина; 4 – колесо; 5 – нагревательный элемент; 6 – токосъемник; 7 – датчик температуры; 8 – блок управления; 9 – регулятор установки уровня нагрева протектора шины; 10 – блок экстренного включения нагрева протектора шины.

Рисунок 2 - Схема использования способа повышения коэффициента сцепления шины колеса мобильной машины с опорной поверхностью

Разработанный способ осуществляется следующим образом.

Перед началом движения устанавливают в соответствии с типом опорной поверхности 1 предстоящей поездки уровень прогрева протектора 2 шины 3 колеса 4, находящегося на этой

поверхности. Затем производят прогрев протектора 2 каждой шины 3 до повышенной температуры электрическим нагревательным элементом 5, установленным под протектором шины. Нагревательный элемент связан через токосъемник 6 с датчиком 7 температуры и блоком 8 управления для подачи питания от электрической цепи мобильной машины. Уровень нагрева протектора шины устанавливается регулятором 9 или блоком 10 экстренного включения нагрева.

Прогрев протектора производят во время движения мобильной машины в режиме ручного или автоматического управления включением и выключением нагрева.

Для решения задачи повышения топливной экономичности двигателя внутреннего сгорания авторами разработана конструкция силовой установки гибридной мобильной машины, отличающаяся от известных аналогов. При разработке новой конструкции была поставлена задача расширения функциональных возможностей гибридной силовой установки, а также снижение общей массы установки. Для решения поставленной задачи двигатель внутреннего сгорания силовой установки выполняет дополнительно функции компрессора или пневмодвигателя [9].

Экономия топлива достигается за счет работы всех или части цилиндров с полной нагрузкой, масса силовой установки снижается за счет устранения в конструкции дополнительного агрегата – компрессора-двигателя.

Предлагаемая конструкция двигателя поясняется рисунком, на котором показано расположение взаимодействующих устройств силовой установки гибридной мобильной машины на примере двигателя внутреннего сгорания с воспламенением от искры (рисунок 3).

На рисунке дополнительно показано следующее:

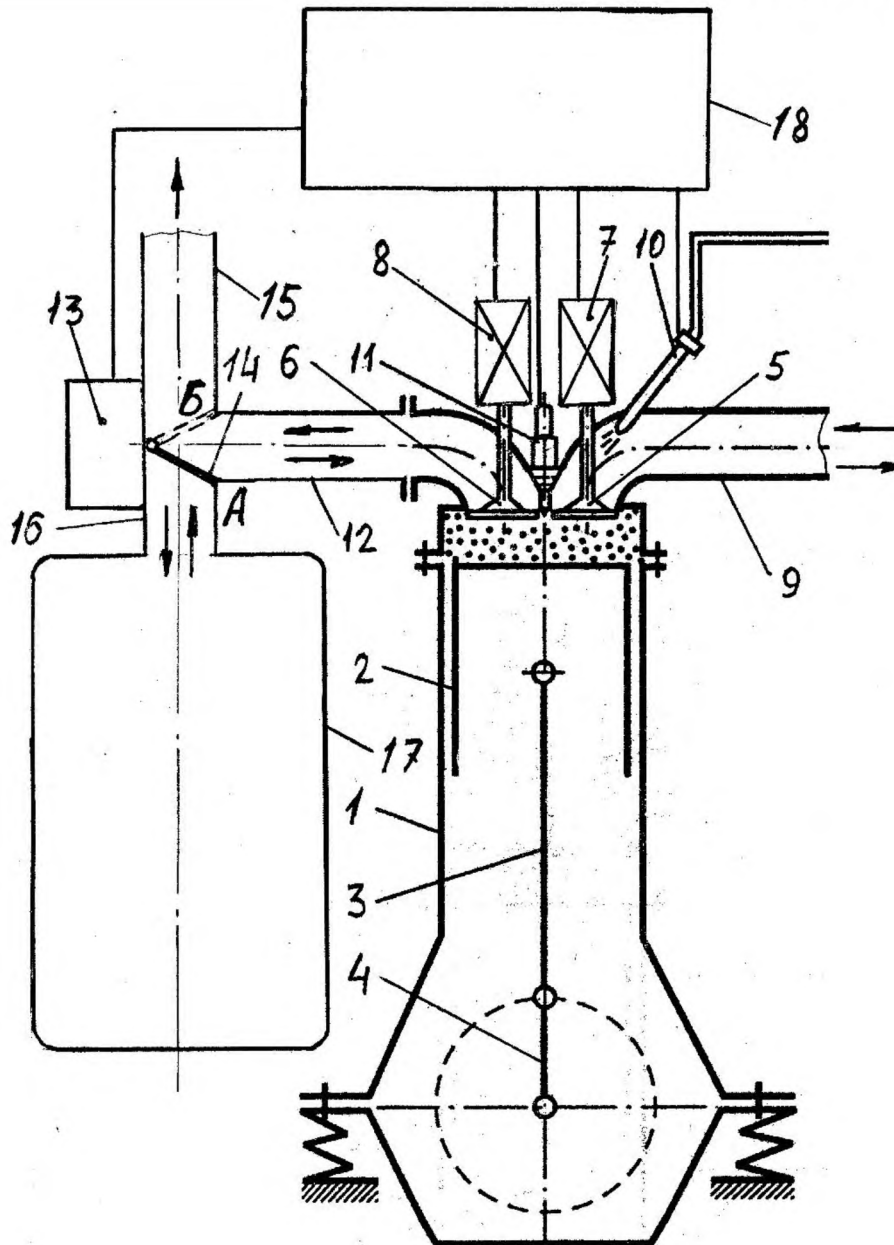
- линиями со стрелками показано направление движения газов по трубопроводам;
- буквами А и Б показаны два возможных положения заслонки.

Работа силовой установки гибридной мобильной машины происходит следующим образом. При движении мобильной машины на режиме, требующем полной мощности от цилиндра, работа происходит по общепринятому четырехтактному циклу. Заслонка 14 при помощи привода 13 при этом находится в положении А. Из трубопровода 12 газы отводятся в систему выпуска.

Для рекуперации энергии торможения мобильной машины цилиндр переводится в режим работы компрессора. Для этого заслонка 14 переводится в положение Б. При этом воздух на такте впуска поступает в цилиндр через впускной клапан 5, подача топлива через форсунку отключается. На такте сжатия впускной клапан закрывается, воздух в цилиндре сжимается и через открытый выпускной клапан 6 поступает в пневматический ресивер 17. Затем выпускной клапан закрывается, а впускной открывается и цикл повторяется. Аналогичный режим может быть получен при вращении коленчатого вала двигателя за счет работы других цилиндров.

Другим вариантом накопления энергии в пневматическом ресивере является направление отработавших газов при работе цилиндра в режиме двигателя по четырехтактному циклу. При этом заслонка 14 устанавливается в положение Б.

При работе цилиндра в режиме пневмодвигателя заслонка 14 переводится в положение Б. Воздух из ресивера 17 через трубопроводы 16 и 12 поступает к выпускному клапану 6, который открывается при ходе поршня из верхней мертвой точки в нижнюю. Подача топлива через форсунку отключается. Впускной клапан при этом закрыт. Вблизи нижней мертвой точки впускной клапан открывается, а выпускной закрывается. При движении поршня к верхней мертвой точке воздух из цилиндра через впускной клапан вытесняется во впускной трубопровод 9. В верхней мертвой точке выпускной клапан закрывается. Затем цикл повторяется.



1 - цилиндр; 2 - поршень; 3 - кривошипно-шатунный механизм; 4 - коленчатый вал; 5 - впускной клапан; 6 - выпускной клапан; 7, 8 - электроприводы; 9 - впускной трубопровод; 10 - форсунка подачи топлива; 11 - свеча; 12 - выпускной трубопровод; 13 - привод поворотной заслонки; 14 - поворотная заслонка; 15, 16 - трубопровод; 17 - пневматический ресивер; 18 - блок управления.

Рисунок 3 – Конструкция силовой установки гибридной мобильной машины

Для отключения от работы цилиндра подача топлива форсункой прекращается, впускной и выпускной клапаны постоянно закрыты, в цилиндре при перемещении поршня происходит попеременное сжатие-расширение одного и того же количества воздуха, обеспечивая минимальные механические потери.

Также повышению топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания способствует и следующая разработка авторов.

Эффективности использования энергии, вырабатываемой двигателем внутреннего сгорания мобильной машины служит конструкция устройства с гидропневматическим аккумулятором для утилизации тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [6], разработанная авторами.

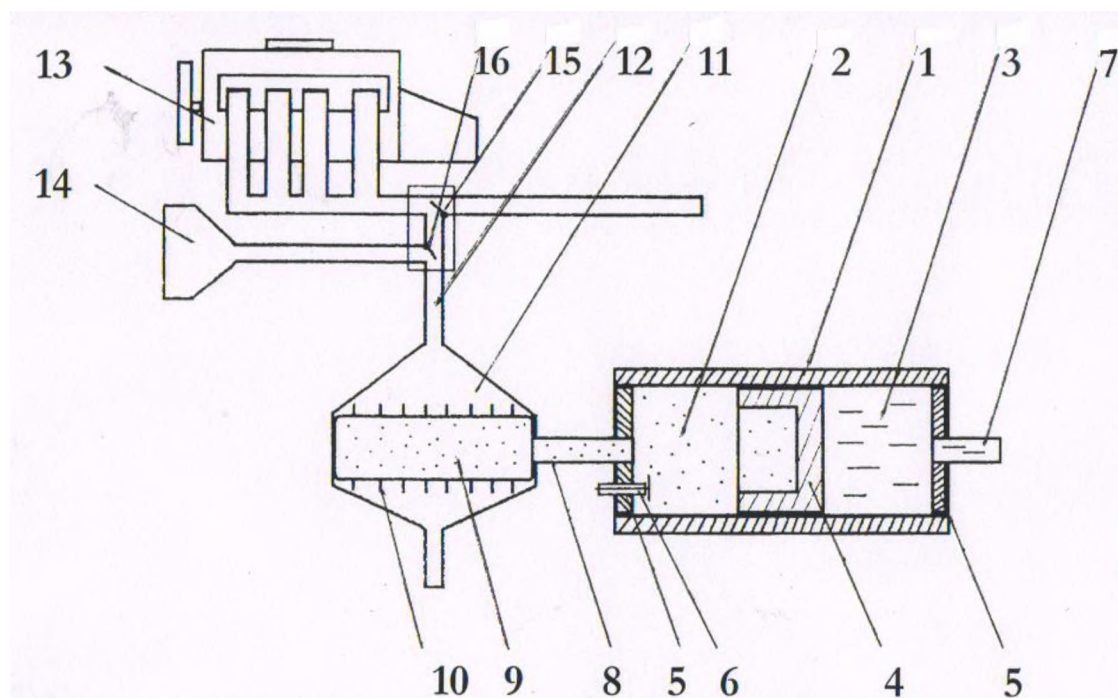
Схема установки с таким аккумулятором представлена на рисунке 4.

Гидропневматический аккумулятор работает следующим образом. На первом этапе производится зарядка жидкостью гидропневматического аккумулятора, например, при рекуперативном торможении, через трубопровод 7 от гидронасоса. Жидкость оказывает давление на разделительный элемент 4.

Разделительный элемент 4 под давлением смещается, сжимая рабочий газ, находящийся в газовой камере 2, накапливая энергию в сжатом газе. В момент, когда происходит зарядка гидропневматического аккумулятора, необходимо подать в кожух 11 атмосферный воздух, при этом заслонкой 15 перекрывается трубопровод 12, отработавшие газы начинают выходить в атмосферу, а заслонкой 16 открывается подача атмосферного воздуха.

Гидропневматический аккумулятор заряжается до максимального давления. Когда заслонкой 15 подачи отработавших газов перекрывается выход выпускного коллектора 13, то есть заслонка занимает вертикальное положение. Заслонка 16 подачи атмосферного воздуха перекрывает подачу атмосферного воздуха в трубопровод 12, то есть также занимает вертикальное положение. Через трубопровод 12 в кожух 11 поступают отработавшие газы для нагрева рабочего газа, находящегося в дополнительном баллоне 9. Газ нагревается, повышается давление и увеличивается внутренняя энергия. Когда необходимо подать в кожух 11 атмосферный воздух, заслонкой 15 перекрывается трубопровод 12, то есть заслонка занимает горизонтальное положение, отработавшие газы начинают выходить в атмосферу, а заслонкой 16 открывается подача атмосферного воздуха, то есть заслонка также занимает горизонтальное положение.

После стабилизации температуры происходит разрядка гидропневматического аккумулятора с подводом отработавших газов, затем цикл работы гидропневматического аккумулятора повторяется.



1 – корпус гидропневматического аккумулятора; 2 – газовая камера; 3 – жидкостная камера; 4 – разделительный элемент в виде поршня; 5 – крышка; 6 – клапан для зарядки газом; 7 – трубопровод для связи с гидронасосом и потребителями; 8 – трубопровод; 9 – дополнительный баллон с газом; 10 - ребра; 11 – кожух; 12 – трубопровод; 13 – выпускной коллектор; 14 – заборник атмосферного воздуха; 15 – поворотная заслонка подачи отработавших газов; 16 – поворотная заслонка подачи атмосферного воздуха

Рисунок 4 – Модернизированный гидропневматический аккумулятор:



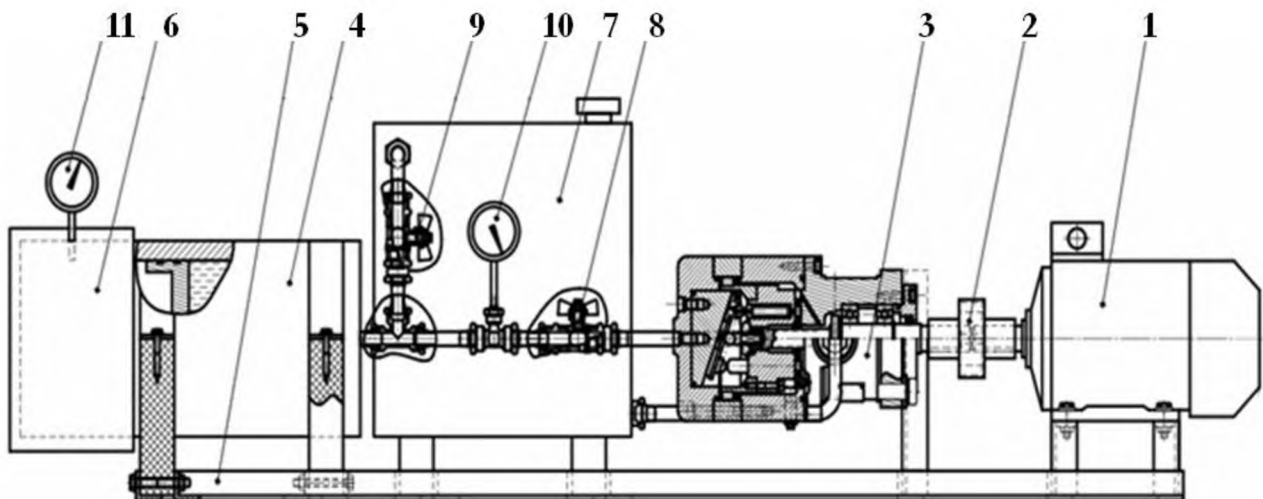
**Расчеты.** Для апробации данного способа сконструирована стационарная установка (рисунок 5). Выпускной коллектор реального двигателя был заменен нагревательным элементом 6 и привод ДВС заменен электродвигателем 1.

Описание установки.

Установка для утилизации тепловой энергии состоит из следующих основных элементов:

1. Электродвигатель – основной источник механической работы, может быть использован как генератор.
2. Муфта соединительная предназначена для соединения электродвигателя с обратной гидромашиной и для снижения вибраций.
3. Насос аксиально-поршневой является преобразователем механической энергии электродвигателя в энергию сжимаемой жидкости. Возможно так же его обратное действие, т.е. преобразование энергии сжатой жидкости в механическую работу.
4. Пневмогидроаккумулятор – накопитель энергии сжатой жидкости.
5. Рама – несущая конструкция для крепления других элементов.
6. Нагревательный элемент – источник тепловой энергии для газообразной части пневмогидроцилиндра.
7. Масляный бак – емкость для хранения гидрожидкости.
8. Кран запорный – перекрывает гидролинию между пневмогидроаккумулятором и обратной гидромашиной.
9. Кран сброса – служит для сброса давления из пневмогидроаккумулятора
10. Манометр – измеряет давление в гидролинии.
11. Термометр – измеряет температуру газа в пневмогидроаккумуляторе.

**Принцип работы.** Электродвигатель 6 вращает вал обратной гидромашин 3, которая в свою очередь создает давление в гидросистеме и наполняет пневмогидроаккумулятор 4. При достижении давления в 50 бар электродвигатель отключается и закрывается запорный кран 8. Включается нагревательный элемент 6 и с помощью манометра 10 и термометра 11 снимаются показания с установки. После проведения испытаний давление сбрасывается через кран 9 в масляный бак 7.



1 - электродвигатель 4A112M4; 2 - муфта соединительная; 3 - насос аксиально-поршневой; 4 - пневмо-гидроаккумулятор; 5 - рама; 6 - нагревательный элемент; 7 - масляный бак; 8 - кран запорный; 9 - кран сброса; 10 - манометр; 11 – термометр

Рисунок 5 - Установка для утилизации тепловой энергии

По результатам испытаний были построены графики зависимости давления в пневмогидроцилиндре от температуры нагревания газа и зависимости давления в пневмогидроцилиндре от объема газа при рабочем ходе поршня пневмогидроаккумулятора.

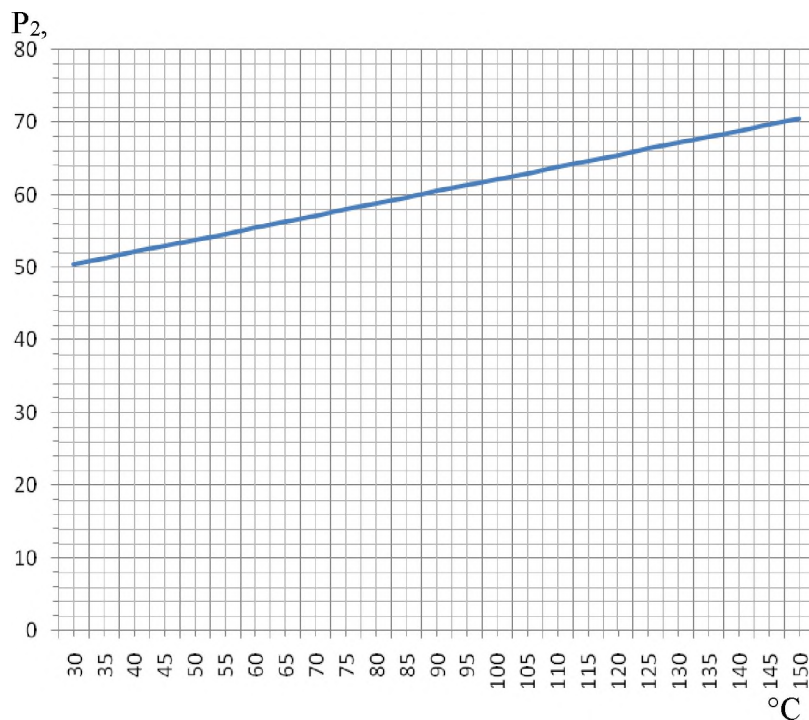


Рисунок 6 - График зависимости давления в пневмогидроцилиндре от температуры нагревания газа

P<sub>2</sub>, бар

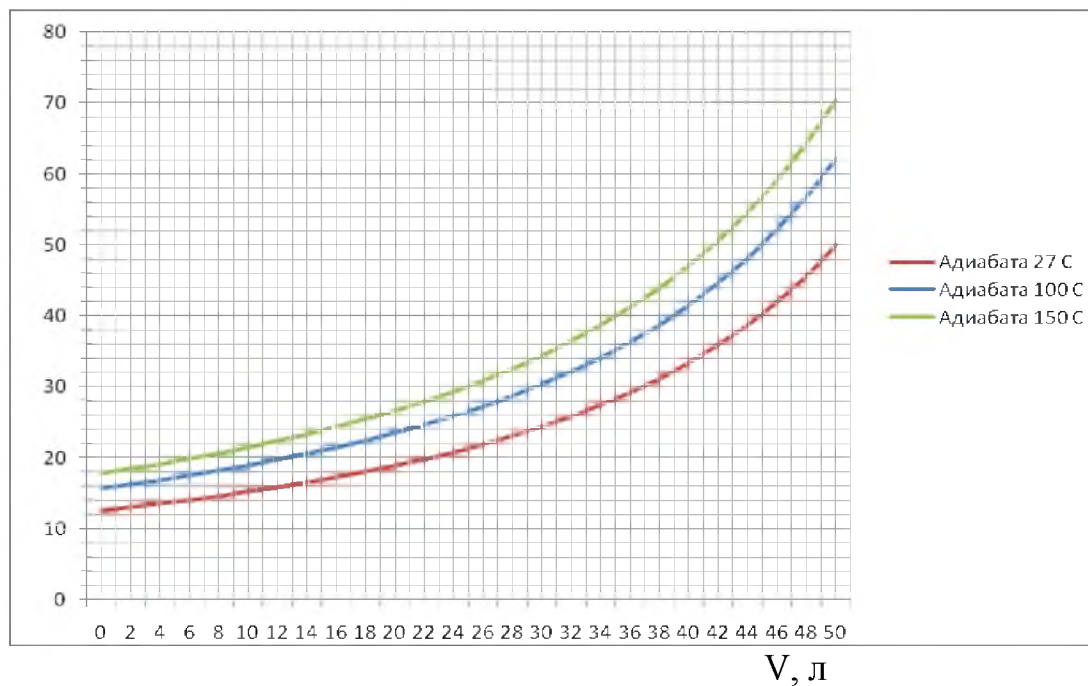


Рисунок 7 - График зависимости давления от объема при рабочем ходе поршня пневмогидроаккумулятора

Таким образом, при расчете работы, совершаемой при нагревании газа в пневмогидроаккумуляторе до 100°C запасенная в нем энергия увеличивается на 24,4% по сравнению с ненагретым, а при увеличении температуры газа до 150 °С - на 40,9%.

**Выводы.** Использование предложенной конструкции мобильной машины с повышенными эксплуатационными свойствами позволяет повысить топливную экономичность мобильной машины, интенсифицировать ее разгон при работе вентилятора в тяговом режиме, сократить тормозной путь при работе вентилятора в тормозном режиме, получить дополнительную энергию за счет набегающего потока воздуха в режиме равномерного движения.

Во время движения способ повышения коэффициента сцепления шины колеса мобильной машины с опорной поверхностью обеспечивает установленный уровень нагрева протектора шины от электрической цепи мобильной машины. При экстренном торможении предложенный способ обеспечивает переход на повышенный нагрев, несмотря на возможный увеличенный износ шин. При выключении зажигания нагрев отключается.

Следовательно, предложенный способ позволяет обеспечить эффективный нагрев шин до требуемой температуры в соответствии с условиями движения мобильной машины и типом опорной поверхности.

Использование силовой установки гибридной мобильной машины позволяет повысить топливную экономичность и снизить общую массу силовой установки, а тепловая энергия, запасенная в пневмогидроаккумуляторе, преобразуется в механическую энергию и способствует уменьшению расхода топлива и сокращению вредных выбросов от рабочего процесса двигателя в атмосферу.

В результате реализации предложенных мероприятий можно прогнозировать увеличение интенсивности разгона до 20%, сокращение длины тормозного пути на 5,2%, а также повышение топливной экономичности до 25%.

#### Список литературы:

1. Влияние температуры шины на коэффициент сцепления / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaminsky.su/blog/ot-chego-zavisit-sceplenie-shin-s-dorogoj-chast-2>. - Загл. с экрана. Дата обращения: 16.09.2016/
2. Иларионов В.А. Теория и конструкция автомобиля / В.А. Иларионов, М.М. Морин, Я.Е. Фаробин, А.А. Юрчевский. - М.: Машиностроение, 1992. - С. 32 -33
3. Иларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля/ В.А. Иларионов. - М.: Машиностроение, 1966.
4. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. - С. 43.
5. Осепчугов, В.В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета / В.В. Осепчугов, А.К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. - С. 279
6. Пат. 2484313 Российская Федерация, МПК F15B 1/24. Гидропневматический аккумулятор/ Павлюк А.С., Харин А.А., заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова; опубл. 10.06.13. Бюл. №16.
7. Пат. 2631377 Российская Федерация, МПК B62D 63/02. Мобильная машина с повышенными эксплуатационными свойствами/ Павлюк А.С., Баранов А.С., заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова; опубл. 22.09.17. Бюл. №27.
8. Пат. 2652872 Российская Федерация, МПК B60C 27/06. Способ повышения коэффициента сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью/ Павлюк А.С., Баранов А.С., заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова; опубл. 03.05.18. Бюл. №13
9. Пат. 2659111 Российская Федерация, МПК F04B 41/04. Силовая установка гибридной мобильной машины/ Павлюк А.С., Баранов А.С., заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова; опубл. 28.06.18. Бюл. №19

## **Известия КГТУ им. И.Раззакова 49/2019**

---

10. Прогрев шин: Утренние размышления / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://bikerpost.ru/blog/49925/Progrev-shin--Utrennie razmyshlenija.html](http://bikerpost.ru/blog/49925/Progrev-shin--Utrennie_razmyshlenija.html). - Загл. с экрана. Дата обращения: 16.09.2016