

АВИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Подзирей Ю.С.

Институт ядерных исследований НАН Украины, г.Киев

Ключевые слова: механическая трансмиссия, полуось, камера сгорания, крутящий момент, труба блока цилиндров

Аннотация. Рассмотрена концепция полноприводного автотранспортного средства (АТС) общего назначения с упрощенной механической трансмиссией. Представлена принципиальная схема длинноходового двигателя с многопозиционным выводом крутящего момента для АТС с колесной формулой 12x12; 8x8 и 4x4. Двигатель размещается внутри ресивера сжатого воздуха, который выполняет функцию хребтовой рамы. Конструкция двигателя предполагает раздачу крутящего момента на каждую полуось отдельно и неразрывное регулирование потока мощности за счет изменения объема камер сгорания и подачи топлива.

AVIATION TECHNOLOGY FOR GENERAL FULLDRIVE VEHICLE

Podzirey Yu.S.

Institute for nuclear research of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Keywords: mechanical transmission, semiaxis, combustion chamber, torque, cylinder block pipe

Abstract The concept of a general fulldrive vehicle which have simplified mechanical transmission is considered. A schematic diagram of a long-stroke engine with a multi-position torque output for vehicle 12x12;8x8 and 4X4 is presented. An engine takes place into the receiver of the compressed air that performs as tubular frame. The engine design assumes distribution of torque on each semiaxis separately and inseparable regulation of a stream of power by change of volume of combustion chambers and fuel giving.

Введение

Прорыв, положивший начало современной авиации, произошел в 1903 году, когда братья Райт впервые в истории человечества совершили полет на управляемом летательном аппарате «Флайер-1». Автомобильные двигатели того времени весили слишком много, обладали низкой мощностью и были неспособны поднять аппарат в воздух. Специально для этой цели был разработан новый двигатель, детали которого, в том числе блок цилиндров, были отлиты из алюминия. С тех пор в этих отраслях транспортного машиностроения происходит взаимное проникновение технологий и материалов. С целью повышения весового совершенства, рамы некоторых многоосных АТС выполняются из титановых сплавов. Широко применяются углеродные композитные материалы, а теплоизоляция выпускной системы некоторых гоночных автомобилей содержит золотую фольгу (впервые

применена в космической технике). Есть тенденция к созданию транспортного средства совмещающего функции автомобиля и самолета. Задача снижения собственного веса актуальна и для обычного автомобиля. Наибольшим весовым совершенством обладает истребитель, основной несущей деталью которого является двигатель – спереди крепится кабина пилота и управление, слева и справа полукрыло, сзади стабилизатор. Подобное решение, где двигатель является основной несущей деталью транспортного средства, может использоваться и в автомобилестроении, что обеспечит высокое весовое совершенство многоосных полноприводных АТС.

Специализированный двигатель для полноприводного АТС

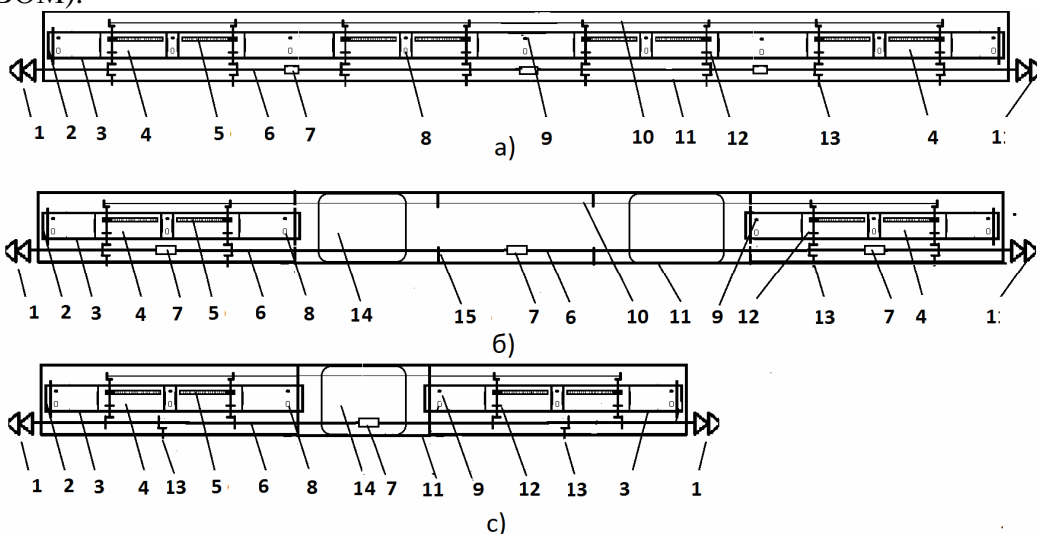
Основная часть стоимости АТС приходится на двигатель и трансмиссию. Двигатель может быть выполнен так, чтобы его детали были частью трансмиссии. Они должны быть простой формы, легко изготавливаться в поточном производстве и не требовать специального станочного оборудования. Для снижения эксплуатационных расходов желательно иметь индикаторный КПД двигателя на номинальном режиме более обычных 30-40%. Подобные пожелания выполнимы с появлением элементов конструкции, обладающих качественно новыми свойствами. Без этого не следует ожидать и существенных результатов в улучшении показателей работы двигателя.

Специализированные двигатели всегда имели более высокий КПД чем унифицированные. Существует целый класс свободнопоршневых машин, у которых рабочий орган непосредственно связан с поршнем дизеля. Устранение передающих и промежуточных звеньев между ними позволяет существенно снизить объем и массу всего устройства и повысить КПД машины. Такое повышение обусловлено снятием некоторых ограничений на параметры рабочего процесса. К этой группе относятся свободнопоршневые дизель-компрессоры, дизель гидронасос, дизель импульсный привод струга и т.д. Например, КПД дизель молота достигает 70% [1].

Препятствием на этом пути для транспортного ДВС является кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Многие авторы [2] небезосновательно полагают, что в развитие двигателей с КШМ наступил системный кризис. Вследствие недостаточного расширения рабочего газа значительная часть топлива теряется. Большая часть тепловых потерь может быть устранена увеличением хода поршня на выпуск, что возможно путем замены КШМ на реечно-шестеренчатый механизм (РШМ) преобразования возвратно-поступательного движения. РШМ был реализован в 1864 г. в двигателе Отто и Лангена [3]. Он был необычайно экономичен, но имел значительные габариты, применялся в стационарном исполнении и не получил дальнейшего развития. Однако, если рассматривать конструкцию грузового автомобиля целиком, то удивляет значительное количество неиспользуемых объемов АТС, в частности, в районе рамы и трансмиссии. Значительный объем и вес приходится на коробку передач (КП). Наличие КП обусловлено тем, что малое плечо, создаваемое КШМ в первой четверти хода

поршня, приводит к тому, что двигатель «не тянет» на низкой частоте вращения. Стоимость КП для многоосного АТС может составлять от 10 до 25% (порядка 250 тыс. рублей).

На рис. 1 представлена принципиальная схема специализированного ДВС в различных модификациях, выполненная на основе коротко ходового авиационного линейного генератора газа [4,5]. Его длинно ходовой вариант позволит регулировать положение мертвых точек. Бок цилиндров двигателя выполнен в виде отрезка трубы, закрытого с торцов крышками. Двигатель содержит четное число поршней двухстороннего действия – в расчете один поршень на каждую ось АТС. Внутри поршня расположен сдвоенный РШМ с зубчатыми рейками на противоположных сторонах тронка. Обе половины механизма работают поочередно в эстафетном режиме. Крутящий момент создается на вале отбора мощности 13 для вращения колеса, а также на трансмиссионном вале 6, расположенном параллельно трубе блока цилиндров. Он может быть снят с любой его точки. Это удобно для работы навесного оборудования. Далее под термином «цилиндр» будем полагать отрезок блока цилиндров от форсунки до соседнего вала отбора мощности (ВОМ).

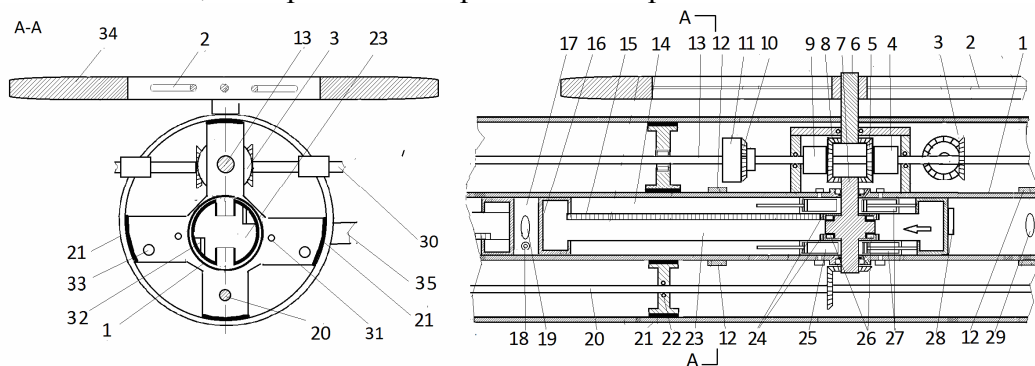


- 1- двухступенчатый компрессор наддува; 2- крышка блока цилиндров; 3- труба блока цилиндров; 4- поршень; 5- верхняя зубчатая рейка; 6- трансмиссионный вал; 7- межосевой дифференциал; 8- впускной клапан; 9- форсунка; 10- синхронизирующий вал; 11- ресивер сжатого воздуха; 12- муфта свободного хода; 13- вал отбора мощности; 14- бак с топливом; 15- опорный кронштейн

Рис. 1. Принципиальная схема линейного двигателя для полноприводного АТС: а) 16x16 для перевозки особо тяжелых грузов; б) 8x8 для перевозки габаритных грузов; в) для перевозки пассажиров 4x4

В зависимости от длины блока цилиндров и числа поршней двигатель может быть использован для АТС 12x12, 8x8 или 4x4. Ресивер 11, помимо емкости сжатого воздуха для наддува цилиндров, также выполняет функцию хребтовой рамы, которая объединяет все остальные детали и механизмы АТС.

Двигатель работает следующим образом. Вспышка топлива с правой стороны поршня толкает его влево (на рис. 2 направление движения указано стрелкой). Верхняя зубчатая рейка 15 через шестерню 24, выполненную в виде зубчатого венца на обойме муфты свободного хода, приводит во вращение вал отбора мощности 7 и, при включенном сцеплении переднего 4 или заднего хода 9, трансмиссионный и синхронизирующие валы 13, 20. Сцепления обеспечивают соединение вала 13 с ведущими шестернями 5,8. Если оба сцепления выключены, то вращается только вал 6, предназначенный для обеспечения работы навесного оборудования, а вал 13 неподвижен. Нижняя шестерня на муфте свободного хода в это время вращается от нижней рейки 32 (сечение А-А) в свободном режиме. При приближении днища поршня к выпускному окну 28 он воздействует на шток гидротормоза 1 (рис. 3), при этом тормозная жидкость перекачивается справа налево через два боковых канала, что приводит к торможению поршня.



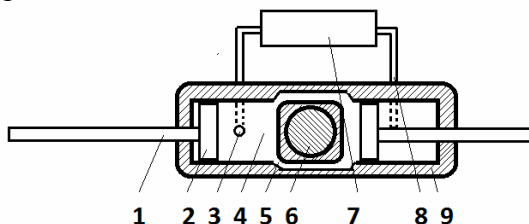
- 1- труба блока цилиндров; 2- спица маховика; 3- коническая пара правой полуоси; 4- сцепление переднего хода; 5- ведущая шестерня переднего хода; 6- вал привода навесного оборудования; 7- вал отбора мощности ; 8- ведущая шестерня заднего хода; 9- сцепление заднего хода; 10- ведущая шестерня левой полуоси; 11- дифференциал; 12- золотниковый клапан промежуточной продувки цилиндра; 13- трансмиссионный вал; 14- направляющая прорезь поршня; 15- верхняя зубчатая рейка; 16- днище поршня; 17- камера сгорания; 18- форсунка; 19- впускной клапан; 20- синхронизирующий вал; 21- теплоизолированный ресивер сжатого воздуха; 22- виброизолятор подушечного типа; 23- поршень; 24- зубчатый венец муфты свободного хода; 25- устройство управления положением мертвой точки; 26- заклинивающий элемент муфты свободного хода; 27- шток устройства управления м.т.; 28- выпускное окно; 29- окно промежуточной продувки; 30- правая полуось; 31- трубопровод тормозной жидкости; 32- нижняя зубчатая рейка; 33- топливная магистраль высокого давления; 34- маховик; 35- выхлопной патрубок

Рис. 2. Линейный ДВС

Положение конца штока 1 (рис. 3), зависящее от общего количества тормозной жидкости, определяет положение мертвой точки и, соответственно, объем камеры сгорания. Для фиксации заданного положения мертвой точки служит блок управления 7, включающий компенсатор объемного расширения жидкости, которая неизбежно нагревается в процессе многократной перекачки. Торможение поршня приводит в движение сепаратор роликов или других заклинивающих элементов 26 (рис. 2) в муфте

свободного хода, который перебрасывает их из положения «заклинено» в положение «расклинено». Аналогичный процесс, но в обратном направлении, происходит в верхней части муфты, которая переключается из состояния «свободный ход» в состояние «рабочий ход». Если время перехода муфты в этом направлении больше чем в обратном, то возникает возможность периодического отключения трансмиссионного вала 13 от поршневой группы и, соответственно, более эффективной организации процесса сгорания топлива.

Подключение нижнего зубчатого венца муфты обеспечивает передачу крутящего момента посредством нижней зубчатой рейки 32 (сечение А-А). Поскольку она расположена на противоположной стороне тронка поршня 23, трансмиссионный вал 13 получит одностороннее вращение, а синхронизирующий вал 20, постоянно кинематически связанный с верхней рейкой 15, разностороннее.



1- шток; 2- поршень; 3- клапан подачи тормозной жидкости; 4- тормозной цилиндр; 5- канал прокачки тормозной жидкости; 6- вал отбора мощности; 7- блок регулирования положения мертвой точки; 8- трубопровод; 9- корпус

Рис. 3. Устройство управления и фиксации положения мертвых точек

Цилиндрический золотниковый клапан 29,12 обеспечивает превышение степени расширения рабочего газа над степенью сжатия воздуха. Клапан открывается с началом продувки цилиндра и закрывается при обратном ходе после его прохождения поршнем. Таким образом, продувка и наддув могут осуществляться через окно промежуточной продувки 29 и после закрытия выпускного окна 28, что увеличивает время-сечение выпуска. Если, например, отношение S/D на сжатие воздуха 4/1 и на рабочий ход 7/1, то на продувку и наддув может выделяться свыше 40 % хода поршня.

Прямоточная продувка через клапан и окно 29, 12 создает равномерную тепловую нагрузку на оппозитные поршни. Ударные нагрузки на муфту свободного хода могут быть сведены к минимуму, если подключение поршня к валу отбора мощности 7 происходит при выравнивании линейных скоростей обеих частей муфты (внешней и внутренней), а ведущая шестерня соединена с валом 7 через упругую муфту. Отсутствие перекладки поршня в мертвых точках и жестких ограничений на его массу допускает изготовление поршня из материалов с низкой теплопроводностью, обеспечивающих повышение максимальной температуры топливного цикла, и «твердую» металлографитную смазку пары поршень-цилиндр. Уплотнение пары поршень –цилиндр может быть также выполнено на основе композиционных

материалов с использованием углеродных нанотрубок, которые выдерживают температуру до 750°C и имеют весьма низкий коэффициент трения – на два порядка ниже чем любая пара обычных материалов и [4].

Это позволит поднять температуру стенок камеры сгорания до 700°C и устранить потери неполного сгорания топлива в пристеночном пространстве. Как показано в работе [5] увеличение массы поршня имеет неоднозначный характер. Оно уменьшает нагрузку на механизм преобразования возвратно-поступательного движения на такте «рабочий ход» и увеличивает на всех остальных. В данном случае каждый ход поршня двухстороннего действия рабочий.

Следующим шагом, приближающим этот двигатель к адиабатному может быть продувка и наддув цилиндров воздухом, нагретым в результате его воздушного охлаждения. При этом малая литровая мощность и увеличенные габаритные размеры двигателя компенсированы большим рабочим объемом и более удобным его расположением, а именно за счет его «капсулирования» в термоизолированном ресивере 21 сжатого воздуха. Он одновременно выполняет функцию хребтовой рамы. Сжатый воздух подается двухступенчатыми центробежными компрессорами 1 (рис. 1) с обоих торцов ресивера-рамы. Главным достоинством длинно ходового дизеля с РШМ – это возможность получения высокой степени сжатия (отсутствует коленчатый вал с опорными шейками), регулирование объема камер сгорания, наличие постоянного плеча для создания крутящего момента. Это позволяет отказаться от КП и исключить из конструкции глушитель. Остановка всех поршней двигателя в среднем положении после его выключения позволяет применить для запуска топливный цикл Ленуара [6]. Значительный объем ресивера 11 (рис. 1) позволяет использовать привод компрессора с постоянным передаточным отношением. Длительность запуска ~ 0.2 сек без использования тяжелых и сложных пусковых устройств. Для запуска двигатель также должен иметь баллоны со сжатым воздухом (на рис. 1 не показаны). Теплоизоляция ресивера и значительно большее, чем обычно расширение рабочего газа, помимо улучшения топливных характеристик, существенно снижает видимость АТС в инфракрасном диапазоне. Для современных и перспективных поршневых атмосферных ДВС и ДВС с турбонаддувом увеличение степени расширения является ключом к повышенному КПД двигателя [7].

Трансмиссия и ходовая часть

Рассмотренная выше схема поршневого ДВС предполагает более жесткую, чем обычно, интеграцию с ходовой частью. Двигатель создается под заданное шасси и заданные размеры колес, расстояние между которыми определяется двигателем. Трансмиссия для такого двигателя исключительно механическая. В отличие от электрической, которая показала свою несостоятельность в проекте КАМЗа «Платформа О», механическая трансмиссия имеет высокий коэффициент полезного действия, компактность

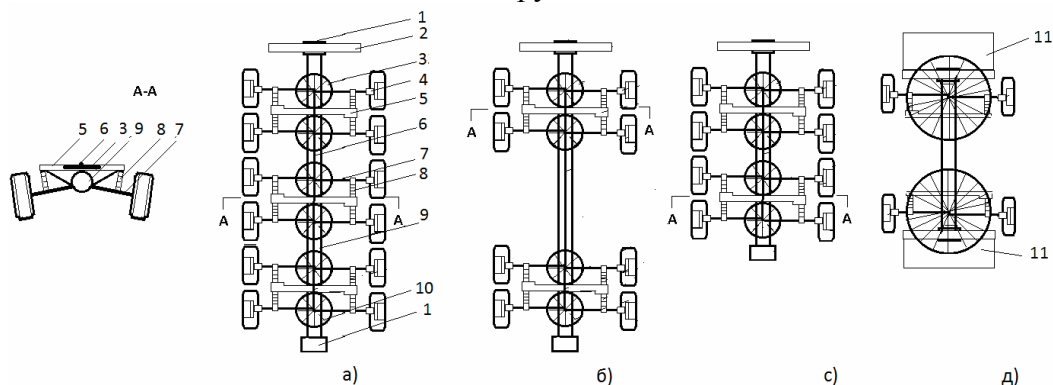
и малую массу, надёжность в работе. Она проста в производстве и эксплуатации. Недостатком механической трансмиссии является ступенчатость изменения передаточных чисел, снижающая использование мощности двигателя. Большое время на переключение передач рычагом усложняет управление машиной. Использование для многоосного АТС более простой и надёжной механической трансмиссии без коробки передач возможно, если разветвление потока мощности происходит в самом двигателе, как предложено выше.

Конструкция двигателя предполагает раздачу крутящего момента на каждую полуось отдельно и непрерывное регулирование мощности за счет изменения объема камер сгорания и подачи топлива. Это существенно упрощает и удешевляет конструкцию трансмиссии и управление АТС в целом. Для ходовой части шасси с колесной формулой (12x12) (рис. 1а) и равномерным распределением осей по базе предположим наличие колес соответствующих ведущим колесам комбайна «Нива» - диаметр 1400, ширина 530 мм, вес 160 кг. Тогда наиболее вероятны следующие параметры двигателя: расстояние между валами отбора мощности 13 – (рис. 1) 1600, диаметр поршня 130, ход на сжатие 400, на расширение 700, длина цилиндра 850 мм, рабочий объем на шесть поршней 114,6 л. При литровой мощности 10,47 л.с./л мощность двигателя 1200 л.с. Общая длина 12-ти цилиндрического двигателя 10,2 м.

На рис. 4а представлена кинематическая схема мостов шестиосного шасси, включающая трансмиссионный вал с двенадцатью точками отбора мощности для колес и шестью точками отбора мощности для навесного оборудования. Крутящий момент с трансмиссионного вала 13 (рис. 2) передается на качающиеся полуоси 30 через пары конических шестерен. Левая полуось, соединена с валом через дифференциал 11, что обеспечивает разную скорость вращения правых и левых колес при криволинейном движении. В особо сложных условиях может быть использован механизм блокировки межосевого дифференциала 7 (рис. 1). Длинноходовая подвеска и балансирующая связь между расположенными рядом полуосями снизит профильные и динамические нагрузки в ходовой части. Вращение шести маховиков 3 (рис. 4) создает гироскопический момент повышающий боковую устойчивость АТС. Одним из недостатков АТС МАЗ-547А, помимо высокой стоимости, является недостаточная боковая устойчивость при полной загрузке, из-за высокого центра тяжести.

Отказ от КП требует согласование таких параметров, как нагрузка, объем камер сгорания, подача топлива и сжатого воздуха в цилиндры. Компьютерное управление АТС это необходимое условие. На компьютер может быть возложено регулирование давления в широкопрофильных шинах для обеспечения оптимальных условий качения, индивидуальных для каждого колеса, а также диагностика и контроль состояния узлов и агрегатов, индикация отказов и исправление ошибок водителя. Возможны различные варианты рулевого управления. Лучшие параметры маневренности обеспечит

всесолевное управление по формуле (1,2,3,4,5,6), оно же и наиболее дорогое. Полная эквивалентность переднего и заднего хода (8 рис. 2) позволяет легко маневрировать в ограниченном пространстве. Для параметров двигателя заявленных выше, стыковка двух АТС по схеме «хвост-хвост» позволяет создать автопоезд грузоподъемностью 60-70т. Это существенно улучшит логистику при железнодорожных-автомобильных перевозках. Низкое удельное давление на грунт и небольшая стоимость производства подобного АТС позволяет использовать его также в качестве универсального шасси для сельскохозяйственного навесного оборудования [8].



1- двухступенчатый компрессор наддува; 2,5- опорные кронштейны кабины водителя и навесного оборудования; 3- маховик; 4- шарнир равных угловых скоростей; 6- вал для навесного оборудования; 7- полуось; 8- рессора; 9- хребтовая рама – ресивер сжатого воздуха; 10- спица маховика; 11- отсек безопасности

Рис. 4. Трансмиссия и ходовая часть шасси: а)12x12; б,с)8x8 д)4x4

Выводы

1. Использование для многоосного полноприводного АТС более простой и надежной механической трансмиссии возможно, если разветвление потока мощности происходит в самом двигателе.

2. Длинноходовой РШМ может обеспечить превышение степени расширения рабочего газа над степенью сжатия воздуха, что существенно увеличит КПД двигателя предназначенного для многоосного АТС и исключит из его конструкции радиатор и глушитель.

Список литературы

1. Петров П.П. Свободнопоршневые двигатели – проблемы и перспективы // Двигателестроение. 1988. №4. С. 3-8.
2. Бугаец Е. Его величество КПД // Двигатель. 2003, № 1-6. 2004, № 1-3.
3. Моравский А.В., Файн М.А. Огонь в упряжке. – М.: Изд-во «Знание», 1990. – 192с.
4. Подзирей Ю.С., Томила Б.Д. Выбор двигателя и движителя для транспортного самолета вертикального взлета и посадки // Арсенал. 2006 №3-4.
5. Подзирей Ю.С. Подъемно-маршевый двигатель для экраноплана. // Судостроение. 2000. №5. С. 22-26.
6. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Стогней О.В. Новые направления физического материаловедения. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. – 360с.

7. Некрасов В.Г. Масса поршня и её влияние на процессы в двигателе // Автомобильная промышленность. 2006. №2. С.10-12.
8. Рыбаков А.П. Возвращение к циклу Ленуара // Автомобильная промышленность. 2001. №6. С. 20-21.
9. Захаров Л.А., Тарасов А.Н., Захаров И.Л., Химич В.Л., Дегтярёв А.В. Современный поршневой ДВС с перспективными энергетическими, экономическими и экологическими показателями получаемые за счет повышения внутренней энергии рабочего тела // Журнал автомобильных инженеров. 2013. №2 (79). С. 14-20.
10. Подзирей Ю.С., Томила Б.Д. Многоосное шасси для транспортных и уборочных работ // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. №11. С. 37-40.

References

1. Petrov P.P. Free piston engines-problems and prospects // Engine building. 1988. №4. P. 3-8.
2. Bugayets E. His Majesty – efficiency // Engine. 2003, № 1-6. 2004, № 1-3.
3. Moravsky A.V., Fine M.A. Fire in harness. – Moscow: Publ. house «Knowledge», 1990. – 192p.
4. Podzirey Yu.S., Tomila B.D. Choice of engine and engine for transport aircraft vertical takeoff and landing // Arsenal. 2006. №3-4.
5. Podzirey Yu.S. Lifting and marching engine for ekranoplan // Shipbuilding. 2000. №5. P. 22-26.
6. Zolotukhin I.V., Kalinin Yu.E., Stogney O.V. New directions of physical material science. – Voronezh: Publ. house of Voronezh st. un-ty, 2000 – 360p.
7. Nekrasov V. G. Mass of the piston and its influence on the processes in the engine // Automotive industry. 2006. no. 2. P. 10-12.
8. Rybakov A.P. Return to the Lenoir cycle // Automobile industry. 2001. №6. P. 20-21.
9. Zakharov L.A., Tarasov A.N., Zakharov I.L., Khimich V.L., Degtyarev A.V. Modern piston engine with promising energy, economic and environmental indicators obtained by increasing the internal energy of the working body // Journal of automotive engineers. 2013. №2 (79). P. 14-20.
10. Podzirey Yu.S., Tomila B.D. multi-Axis chassis for transport and harvesting // Tractors and agricultural machines. 2006. №11. P. 37-40.

Сведения об авторах:

Подзирей Юрий Степанович – к.ф.-м.н.,
старший научный сотрудник,
Институт ядерных исследований НАН
Украины, Киев, yuri.podzirey@gmail.com

Information about authors:

Podzirey Yuri Stepanovitch – candidate of
physical and mathematical sciences, senior
researcher, Institute for Nuclear Research,
Kiev, Ukraine, yuri.podzirey@gmail.com

Получена 12.03.2020