

УДК 621.43

ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ДИЗЕЛЕМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТА

Сайкин А. М., доктор технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист Центра интеллектуальных систем
Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»,
г. Москва, Россия
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Аннотация

В настоящей работе автор представляет на уровне схемного решения некоторые основные идеи перспективной двигательной установки (ДУ), разрабатываемой на протяжении ряда лет. В сравнении с традиционной ДУ, включающей многоцилиндровый двигатель внутреннего сгорания (ДВС) с кривошипно-шатунным механизмом, механическое сцепление и коробку переключения передач (КПП), предлагаемая ДУ характеризуется существенно меньшими затратами на ее проектирование и изготовление, меньшими эксплуатационными расходами топлива и пониженными требованиями к его качеству и качеству масла, а также улучшенными технико-экономическими показателями, в частности ремонтопригодностью и приспособляемостью к требованиям различных потребителей механической энергии и повышенными компоновочной способностью, ресурсом и надежностью.

Ключевые слова: гидромотор, двигательная установка, клапан, дренаж, гидроаккумулятор, ресивер

ENGINE UNIT WITH THE DIESEL ENGINE FOR FUTURE VEHICLES

Saykin A. M., doctor of technical sciences, senior researcher,
chief specialist of the Center for Intelligent Systems
Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Motor Institute of the Order
of the Labour Red Banner “NAMI”», Moscow, Russia
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Annotation

In this paper, the authors present some basic ideas of the promising engine unit that has been under development for a number of years. The presentation is made at the schematic solution level. In comparison with the traditional engine unit, which includes a multi-cylinder internal combustion engine (ICE) with a crank mechanism, a mechanical clutch and a gearbox, the proposed engine unit is characterized by significantly lower costs for its design and manufacture, lower operating fuel consumption and reduced requirements for its quality and oil quality. It also has improved technical and economic indicators, in particular, maintainability and adaptability to the requirements of various consumers of mechanical energy and increased layout capacity, resource and reliability.

Keywords: hydraulic oil motor, engine unit, valve, drainage, hydraulic accumulator, receiver

В соответствии с принятой концепцией развития автомобильной промышленности России, рассчитанной на период до 2035 года, развитие автомобилестроительной отрасли базируется на фундаментальных и прикладных исследованиях, направленных на создание новых видов автомобильной техники, отвечающих перспективным российским и международным требованиям по надежности, безопасности и экологии. Приоритетными являются работы по совершенствованию конструкции ДВС и трансмиссии автомобиля.

Реализация поставленных в концепции задач путем доводки и модернизации существующих конструкций двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий автомобилей, как показывает практика, маловероятна. Достижение этой цели возможно на пути разработок новых схемных решений, позволяющих максимально использовать уже достигнутые успехи в различных областях практического двигателестроения и колоссальный теоретический багаж.

В настоящей работе автор представляет на уровне схемного решения некоторые основные идеи перспективной ДУ, разрабатываемой на протяжении ряда лет. В сравнении с традиционной ДУ, включающей многоцилиндровый ДВС с кривошипно-шатунным механизмом, механические сцепление и коробку переключения передач (КПП), предлагаемая ДУ характеризуется существенно меньшими затратами на ее проектирование и изготовление, меньшими эксплуатационными расходами топлива и пониженными требованиями к его качеству и качеству масла, а также улучшенными технико-экономическими показателями, в частности ремонтпригодностью и приспособляемостью к требованиям различных потребителей механической энергии и повышенной компоновочной способностью, ресурсом и надежностью.

Важно отметить, что в основе предлагаемой ДУ лежат уже практически освоенные машиностроением технические решения, примененные в сочетании, обеспечивающем значительный прогресс и резкое повышение конкурентоспособности.

1. Основные особенности схемного решения перспективной ДУ.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема, позволяющая уяснить некоторые из основных идей, заложенных в перспективную ДУ, и дающая возможность добиться значительного прогресса. Для простоты на схеме не показаны многие широко известные в двигателестроении узлы и системы (системы очистки воздуха и рабочих жидкостей, дренажа, охлаждения и подогрева, диагностики, регулирования, электросистема и т. п.).

В результате всестороннего анализа достигнутых успехов в различных областях двигателестроения в разработанной схеме ДУ принята идея совместного использования достоинств поршневого ДВС и гидропривода путем, что важно, глубокого их конструктивного совмещения. В рассматриваемом варианте предлагаемой схемы глубокое конструктивное совмещение заключается прежде всего в том, что одноцилиндровый ДВС 2 (рисунок 1) и насос высокого давления гидравлической системы 17 представляют по существу единый агрегат, рассчитанный на мощность, которая в традиционных конструкциях реализуется в 4-8-цилиндровых ДВС. В этом агрегате рабочий поршень 8 ДВС жестко соединен со штоком 22, свободный конец которого является вытеснителем 18 объемного гидравлического насоса высокого давления 17, питающего рабочей жидкостью регулируемый (по рабочему объему) реверсивный гидромотор (ГМ) высокого давления 12, способный работать и в режиме насоса.

Заметим, что отечественной промышленностью уже освоен серийный выпуск таких гидромоторов (суммарный КПД гидромотора ~92 %), работающих на давлениях вплоть до 350 атмосфер, что предопределяет их малые габариты, удельные массу (до ~0,135 кг/кВт) и цену (до ~100 руб/кВт). С освоением более высоких рабочих давлений эти удельные показатели будут уменьшаться в дальнейшем (имеются сведения о гидростатических передачах с рабочим давлением до ~700 атмосфер и более).

Для уменьшения отрицательного влияния на работу ДУ большой неравномерности хода одноцилиндрового ДВС (особенно четырехтактного) между насосом высокого давления 17 и ГМ 12 включена батарея гидроаккумуляторов 10, устраняющая жесткую кинематическую

связь между ДВС и ГМ. Отметим этот пример простого решения важной задачи согласования работы ДВС и ГМ как свидетельство широкой адаптационной способности гидравлических систем к работе в различных условиях (при более детальной проработке проекта ДУ эта способность использовалась во многих случаях, на которых в данной статье не акцентируется внимание). Предварительные оценки показали, что предлагаемая схема ДУ с дизельным автомобильным ДВС наиболее оптимальна в диапазоне мощностей от 50 до 400 кВт (причем прогресс в технологии способствует расширению допустимого диапазона мощности). При больших мощностях возможно использование ДВС с большим числом рабочих поршней, но также с существенно большей цилиндровой мощностью в сравнении с традиционными автомобильными ДВС.

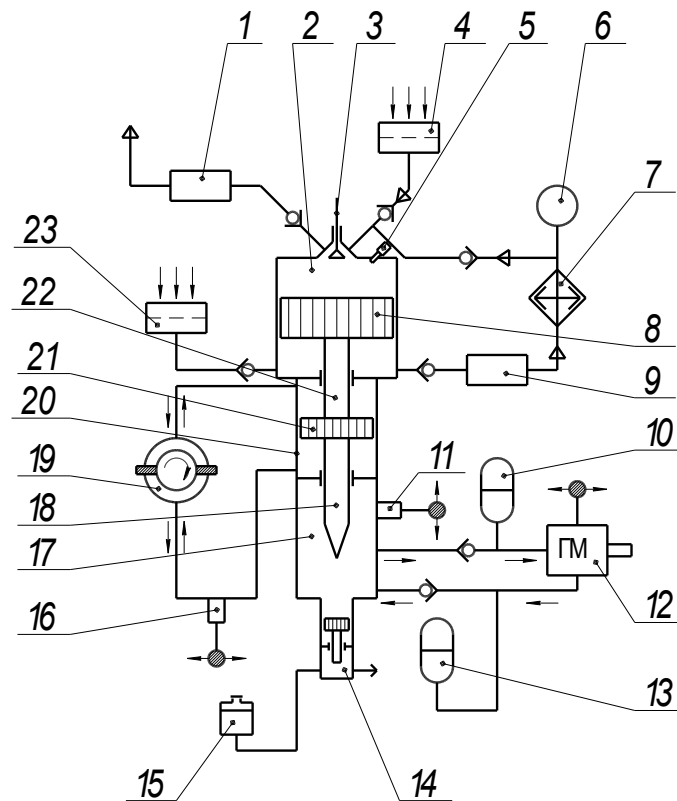


Рисунок 1. Упрощенная принципиальная схема перспективной ДУ:

– обратный клапан; – воздушный ресивер;
 – гидроаккумулятор; – орган управления:

- 1 – система очистки ОГ; 2 – рабочий объем; 3 – управляемые клапаны рабочего объема;
 4 – фильтр воздуха, поступающего в рабочий объем; 5 – форсунки; 6 – ресивер продувочного воздуха;
 7 – теплообменник-охладитель продувочного воздуха; 8 – рабочий поршень ДВС;
 9 – фильтр внутренний продувочного воздуха; 10 – батарея гидроаккумуляторов силовых;
 11 – регулятор максимального давления; 12 – реверсивный регулируемый гидромотор высокого давления; 13 – гидроаккумулятор «обратки»; 14 – гидроцилиндр топливного насоса высокого давления системы подачи аккумуляторного типа; 15 – топливный бак; 16 – регулятор степени сжатия; 17 – насос высокого давления гидросистемы; 18 – плунжер насоса высокого давления гидравлической системы; 19 – задатчик движения поршня ДВС; 20 – гидроцилиндр задатчика движения 19; 21 – поршень гидроцилиндра; 22 – шток ДВС; 23 – фильтр входной продувочного воздуха

2. Отметим некоторые достоинства предлагаемого схемного решения.

Вместо традиционного 4-8-цилиндрового ДВС, имеющего в своем составе коленчатый вал, подшипники коренные и шатунные, шатуны, шатунные пальцы, поршни сложной формы, в предлагаемой схеме ДУ имеется одноцилиндровый ДВС, к тому же лишенный всех этих

сложных узлов и деталей. Поэтому при данной схеме значительно снижены затраты на разработку, производство ДВС, на его техническое обслуживание и значительно повышен его ресурс (в частности, из-за неотмеченных выше отсутствия перекачки поршня в верхней мертвой точке и бокового давления поршня на рабочий цилиндр).

Так как отечественной промышленностью уже освоено массовое производство гидромоторов высокого давления, имеющих широкий спектр потребительских свойств, данная схема позволяет удовлетворить требования конкретного потребителя механической мощности путем выбора и установки ГМ, соответствующего этим требованиям. Не исключается применение нескольких ГМ или применение гидравлической турбины высокого давления (вместо гидромотора объемного типа), что позволит увеличить максимальную рабочую частоту вращения выходного вала ДУ и удешевить ДУ.

Данная схема обладает широкими компоновочными возможностями, так как позволяет располагать на транспортном средстве гидроаккумуляторы, гидромотор (или гидромоторы, гидротурбину) в удобных местах, достаточно независимых от мест расположения ДВС.

Подчеркнем, что ГМ с регулируемым рабочим объемом позволяет обойтись без традиционных механических сцеплений КПП, исполняя их роль более успешно во многих отношениях. Отсутствие указанных узлов традиционной ДУ и жесткой связи между ДВС и выходным валом ГМ не только увеличивает надежность ДУ, но и резко снижает требования к квалификации водителя, повышает комфортность управления автомобилем и безопасность движения.

Значительно повышает безопасность на дорогах запас сжатого газа в аварийных гидроаккумуляторах (на схеме условно не показаны), который и при неработающем ДВС позволяет с помощью ГМ произвести работу по перемещению автомобиля в безопасное место.

Запас сжатого воздуха в гидроаккумуляторах позволяет значительно увеличить приемистость автомобиля благодаря большой мощности на ГМ, даже если ДВС не успел увеличить частоту рабочих циклов и свою мощность. Более плавный набор мощности ДВС, допустимый в предлагаемой схеме без потери приемистости, существенно уменьшает выбросы вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) на переходных режимах ДУ.

Работа ГМ в режиме гидронасоса в процессе торможения или спуска автомобиля позволяет запасать в гидроаккумуляторах даровую энергию, повышая топливную экономичность и уменьшая выбросы вредных веществ с ОГ автомобиля, особенно в городском цикле и в горной местности (на схеме условно не показана система автоматического переключения гидромотора в режим работы насоса при смене знака крутящего момента на выходном валу ГМ).

В схему включен гидравлический задатчик движения 19, получающий энергию в рабочем ходе поршня 8 от гидроцилиндра 20 с поршнем 21 и возвращающий энергию поршню ДВС во время других тактов. В простейшем виде задатчик движения 19 представляет собой эксцентриковую гидравлическую машину, работающую попеременно в режимах гидромотора и гидронасоса, на гидравлически уравновешенном валу которой размещается маховик для стабилизации возвратно-поступательного движения поршня 8, особенно необходимой на малых частотах (важно, что мощность, воспринимаемая и возвращаемая задатчиком движения, мала в сравнении с мощностью затрачиваемой поршнем ДВС на работу насоса высокого давления 17, поэтому даже не очень высокий КПД задатчика движения не может сильно повлиять на общий КПД ДУ). Можно обойтись вообще без задатчика движения, осуществляя возвратный ход поршня ДВС энергией, запасенной сжатым воздухом в буферной полости, как это, например, осуществляется в известных компрессорных установках со свободно движущимися поршнями.

Схема позволяет относительно просто реализовать изменение степени сжатия воздушного заряда в ДВС. Действительно, введя с помощью дозирующего устройства 16 некоторый объем рабочей жидкости в пространство гидроцилиндра 20, находящееся «под» поршнем 21, увеличим степень сжатия ДВС, и наоборот. Регулирование степени сжатия

позволяет заметно улучшать пусковые свойства ДВС в особо холодных условиях, топливную экономичность и/или экологические показатели.

Относительно просто решается вопрос создания топливного насоса высокого давления 14. Такой насос не имеет вращающихся частей. В нем для привода поступательно движущегося плунжера используется пульсирующее давление рабочей жидкости насоса 17 гидростатической передачи. Реализуя известный способ работы гидравлического пресса (или трансформатора давления), относительно просто можно достичь давления $(400-600) \cdot 10^5$ Па (здесь рассматривается система топливоподачи аккумуляторного типа, которая не нашла пока широкого применения, но активно разрабатывается). Возможно применение топливного насоса высокого давления, плунжер которого жестко связан со штоком двигателя и который подает топливо непосредственно в форсунку, а не в аккумулятор топлива. Достигаемые высокие давления, повышающие, в частности, скорость и качество распыла топлива, требуют уменьшения проходных сечений распылителей форсунок (острота этого требования значительно выше для многоцилиндрового ДВС, в каждую камеру сгорания (КС) которого нужно подать меньшее количество топлива, чем в единственную КС ДВС предлагаемой ДУ). Отметим, что при столь высоких давлениях возможно использование повышенной способности воздуха растворяться в топливе. Растворенный воздух способствует улучшению распыла топлива благодаря его «кессонному вскипанию» при истечении из области высокого давления в область относительно малого давления КС. Улучшению сгорания и стабильности работы ДВС в широком диапазоне мощностей способствует наличие нескольких форсунок 5, рассчитанных на различные расходы топлива, что, в частности, позволяет относительно просто осуществлять (по желанию водителя) или наиболее экономический, или наиболее экологический закон подачи топлива.

3. Отметим дополнительно некоторые положительные особенности собственно ДВС предлагаемой ДУ. Известно, что уменьшение отвода тепла от газа в рабочем цилиндре способствует улучшению многих показателей ДВС. Поэтому поверхности головки поршня, контактирующие с газом, покрыты теплоизоляционным слоем, а площадь поверхности гильзы цилиндра, покрытой нетеплоизолирующим антифрикционным слоем, уменьшена благодаря относительно малому ходу поршня. Отношение хода поршня 8 к диаметру цилиндра меньше $\frac{1}{2}$, т. е. ДВС короткоходный, что уменьшает потери механической энергии, обусловленные трением поршневых колец о гильзу цилиндра. Заметим, что относительно большой диаметр означает относительно большую силу давления, приходящуюся на поршень, что допустимо по причине отсутствия в рассматриваемом ДВС подшипников, бокового усилия поршня на гильзу и «перекладки» поршня. По этой же причине допустимы гораздо большие степени сжатия (это способствует повышению КПД и надежному запуску при низких температурах) и скорости нарастания давления (что снижает требования к дизельному топливу по цетановому числу).

Наконец, большой диаметр цилиндра позволяет обеспечить достаточно большие числовые значения «времени-сечения» открытых клапанов для хорошего заполнения рабочего объема свежим воздухом и удаления ОГ. Для имеющегося одного цилиндра нетрудно обеспечить не только переменную степень сжатия (как уже упоминалось), но и переменную степень расширения, причем всегда превосходящую степень сжатия не менее, чем на 20 % (это обеспечивает уменьшение температуры ОГ в конце такта расширения и повышение термического КПД цикла на 7-15 %, где меньшее число относится к режиму большой мощности, а большее число – к режиму малой мощности). Повышенные степени расширения, в сравнении со степенью сжатия, достигаются путем выпуска части воздушного заряда из рабочего цилиндра благодаря более позднему закрытию выпускных клапанов, что также, как и уменьшенная температура выпускаемых ОГ, обеспечивает малую тепловую напряженность выпускных клапанов и повышает надежность их работы, улучшает охлаждение внутренних поверхностей КС.

Предлагаемый ДВС является штоковым, т. е. в нем отсутствует шатун, что позволяет относительно просто решить задачу смазки пары поршень-гильза, эффективно использовать

подпоршневое пространство для охлаждения поршня и гильзы, в частности с помощью воздуха, обеспечив при этом симметричность их температурных полей, что существенно упрощает конструкцию поршня, не требуя разработки и изготовления сложных поверхностей. Не составляет труда и получение достаточного давления воздуха в подпоршневом пространстве для обеспечения хорошей продувки и заполнения им рабочего объема ДВС в случае работы по двухтактному циклу.

В заключение отметим, что в сравнении с традиционным ДВС предлагаемый ДВС имеет полный КПД (рассчитанный по мощности на штоке поршня), превышающий на ~20-28 % КПД (рассчитанный по мощности на выходном валу) традиционного ДВС, за счет:

- уменьшенной теплоотдачи в систему охлаждения (увеличение КПД на ~3 %);
- уменьшенных потерь тепла с уходящими ОГ (увеличение КПД на ~7-15 %);
- уменьшенных потерь механической работы, обусловленных трением поршня о гильзу цилиндра (увеличение КПД на ~5 %) и поршневых колец (увеличение КПД на ~5 %).

Однако потери механической энергии в гидравлической системе уменьшают КПД всей установки в целом на ~12 %, так что увеличение общего КПД ДУ (без учета возврата энергии в гидроаккумуляторы при торможении автомобиля) составит 8-16 %, где меньшее число относится к работе двигателя на большей мощности, а большее число – к работе на меньшей мощности. Настолько же примерно следует ожидать и уменьшение расхода топлива при неработающей системе аккумуляции энергии. При работающей системе в городском цикле или в горной местности следует ожидать уменьшение расхода топлива на ~13-26 %.

4. Проведенные дополнительно численные оценки повышения технико-экономических показателей изложенной схемы перспективной ДУ показывают, что предлагаемая ДУ в сравнении с традиционной имеет следующие отличия:

- уменьшенные (в 2-4 раза) удельную массу и себестоимость, при этом литровая мощность практически не изменится;
- уменьшенный расход топлива (на 8-26 %);
- уменьшенное (в 1,5-2 раза) минимально допустимое цетановое число;
- уменьшенную токсичность (в 1,5-2 раза) отработавших газов;
- уменьшенные (в 2-4 раза) расходы на техническое обслуживание и ремонт;
- уменьшенный шум (на ~4-8 дБ (А));
- увеличенный ресурс (в 2-5 раз);
- увеличенную приемистость (в 3-5 раз).

Кроме того, перспективная ДУ будет иметь:

- повышенные простоту, надежность при запуске и управлении, плавность хода;
- повышенные приспособляемость к требованиям потребителя механической энергии, ремонтпригодность;
- новые компоновочные возможности;
- уменьшенные требования к качеству топлива и масла.

Выводы. 1. Предложена перспективная ДУ для наземного автотранспорта, использующая в значительной степени накопленный теоретический потенциал и практические достижения путем использования достоинств бесшатунного (штокового) дизельного ДВС и гидропривода.

2. В основе предлагаемой ДУ лежит идея глубокого конструктивного совмещения в едином агрегате однопоршневого ДВС, не имеющего механизма преобразования поступательного движения поршня во вращательное движение, и гидравлического насоса высокого давления, плунжер которого жестко связан с рабочим поршнем.

3. Предложенная ДУ обещает значительный прогресс в части уменьшения затрат на производство и обслуживание, уменьшения удельного расхода топлива, снижения токсичности ОГ, требований к качеству топлива, маслу и к квалификации водителя, шума,

а также и в части повышения надежности, ресурса, ремонтпригодности, компоновочных возможностей, приспособляемости к разнообразным требованиям потребителя механической энергии.

4. В силу исключительной конструктивной простоты и использования в основном уже освоенных промышленностью устройств и технических решений, создание предлагаемой ДУ позволит быстро достичь значительного прогресса и резко повысить конкурентоспособность автомобиля.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года (В редакции Распоряжения Правительства Российской Федерации от 21.10.2024 № 2963-р) // URL: <http://government.ru/docs/all/145481/> (дата обращения: 15.08.2025).
2. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. Москва : Агропромиздат, 1991. 208 с. ISBN 5-10-000789-3. EDN XAQVSV.
3. Гетманец Г. В., Лиханов В. А. Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта. Москва : ФГУП «Издательство «Наука», 1993. 330 с. EDN WLOBYH.