

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Обзорная статья

УДК 621.43

Инновационные технологии в области двигателей внутреннего сгорания

Татьяна Евгеньевна Коршунова¹, Роман Дмитриевич Вольнец²

^{1,2}Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ korte12@mail.ru

² roma203rus@gmail.com

Аннотация. Исследованы инновационные технологии в области двигателей внутреннего сгорания транспортных средств. Уделено внимание как зарубежным, так отечественным разработкам, спроектированным или созданным за последние пять лет в рамках программ повышения их эффективности и экологической безопасности. Приведены технические характеристики и особенности новых двигателей, рассмотрены тенденции и перспективы их развития.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, транспортные средства, расход топлива, мощность двигателя, эффективность, экологическая безопасность

Для цитирования: Коршунова Т.Е., Вольнец Р.Д. Инновационные технологии в области двигателей внутреннего сгорания // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 63, № 1. С. 55–68.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Review article

Innovative production engineering in the field of internal combustion engines

Tatiana E. Korshunova¹, Roman D. Volynets²

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ korte12@mail.ru

² roma203rus@gmail.com

Abstract. Innovative production engineering in the field of explosive motors of transport facilities is investigated. The attention as foreign, so is paid to domestic workings out, спроектированным or created for last five years within the limits of programs of raise of their efficiency and ecological safety. Technical datas and features of new propellers are resulted, trends and prospects of their development are observed.

Keywords: internal-combustion engines, vehicles, exhaust gases, fuel rate, engine output, efficiency, ecological security

For citation: Korshunova T.E., Volynets R.D. Innovative production engineering in the field of internal combustion engines. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 63(1):55–68. (In Russ.).

В современном мире предпочтение отдается транспорту, транспортному и технологическому оборудованию с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), что связано с их высокой надежностью, длительным ресурсом работы, доступностью топлива, высокой скоростью заправки. При этом подавляющее большинство ДВС работают на бензиновом или дизельном топливе, и реже – на газовом. Однако эффективно расходуется всего лишь 55 % нефтепродуктов, 45 % выбрасывается в атмосферу в виде вредных выхлопных газов.

По мнению ученых, стремительное изменение климата на планете (повышение средней годовой температуры, вызывающее таяние «вечных» льдов и повышение уровня Мирового океана, все более учащающиеся такие явления, как аномальные жара и холод, засухи и наводнения, ураганы, сели и другие природные катаклизмы) вызвано в первую очередь увеличением количества углекислого газа в атмосфере вследствие неэффективного сжигания углеводородов (нефти и ее производных, газа, угля), одними из наиболее активных «поставщиков» вредных выбросов являются транспортные средства.

Предотвратить изменение климата эксперты считают возможным при переводе транспортных средств на альтернативные источники энергии. Следуя этой теории, в некоторых странах с целью снижения вредных выбросов в качестве топлива применяют биогаз, биодизель, водород и др., которые для большинства регионов мира оказываются либо мало эффективными из-за отсутствия достаточного ресурса альтернативного топлива, либо экономически не оправданными, требуя новых дорогостоящих конструктивных решений двигателя и дополнительного оборудования. Большинство же специалистов видят решение проблемы в переходе на экологически чистые для окружающей среды электротранспортные средства. Однако реализация проекта «электротранспорт» связана не только с необходимостью масштабной реорганизации инфраструктуры и энергосистем, требующих больших капиталовложений, но и с вопросами экологической чистоты производства и утилизации аккумуляторных батарей, скорости их зарядки и др. И как предполагают профессионалы, добиться массового внедрения электротранспорта станет возможным лишь через несколько десятилетий.

По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), доля транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания до 2035–2040 гг. все еще будет составлять около 70–80 % [1, 2]. Поэтому вопрос развития ДВС остается по-прежнему актуальным. Ученые и инженеры всего мира продолжают работать над их усовершенствованием, внедряя новейшие технологии и создавая принципиально новые конструкции двигателей с улучшенными параметрами.

Цель настоящей работы – исследование современного состояния и перспектив развития двигателей внутреннего сгорания. По результатам анализа открытых информационных источников за последние пять лет наибольший интерес, на наш взгляд, представляет ряд инновационных ДВС с оригинальными конструкторско-технологическими решениями: двигатели без распределительных валов, двигатель с низкой степенью сжатия, двигатель с использованием технологии керамических мембран, двигатель с очень низким уровнем вредных выбросов, двигатель без кривошипно-шатунного механизма. Несмотря на то, что многие из них разрабатывались на базе автомобильных двигателей, создатели заявляют о возможности применения новых технологий в области ДВС на любых других видах транспорта (водном, воздушном, железнодорожном).

Двигатель без распределительного вала шведской компании Koenigsegg Automotive AB и FreeValve [3–8]

Общеизвестно, что во всех ДВС непременно присутствует такой элемент, как распределительный вал, кулачки которого отвечают за открытие–закрытие клапанов двигателя, регулирующих подачу топливно-воздушной смеси и выпуск отработавших газов. Однако в про-

цессе открытия–закрытия может происходить «зависание» клапанов, когда клапаны не полностью закрыты или открыты, в этот момент своевременный впрыск топливовоздушной смеси или выпуск отработанных газов затруднен. Решить проблему смогли специалисты шведских компаний Koenigsegg Automotive AB в партнерстве с дочерней компанией FreeValve AB (бывшей Cargine Engineering AB). Результатом их многолетней работы (с начала двухтысячных годов) явилось создание инновационного двигателя внутреннего сгорания без распределительного вала и дроссельной заслонки, в котором открытием и закрытием клапанов управляет не распредвал, а уникальные пневмогидроэлектрические приводы (актуаторы), установленные отдельно в каждом клапане.

В системе FreeValve клапаны не связаны между собой и открываются и закрываются индивидуально с помощью актуатора, что позволяет изменять как момент, так и продолжительность открытия клапанов. Электронный блок управления посылает сигнал на актуатор, который открывает клапан с помощью пневматики и закрывает, используя гидравлику. Пневматическая и гидравлическая системы находятся под постоянным давлением и всегда готовы выполнить открытие или закрытие клапанов, сообщая им максимум энергии. Электрический привод подает масло и воздух, создавая необходимое давление для работы актуатора.

На толкателях установлены пневматические пружины с регулируемым уровнем жесткости и датчики положения клапанов. Процесс работы цилиндров и вспомогательных систем двигателя контролируется компьютером, благодаря чему можно менять фазы газораспределения неограниченное количество раз. Кроме того, можно отключать любое количество цилиндров в любое время. Благодаря технологии FreeValve удалось создать двигатель, эффективно работающий при любых оборотах и на всех режимах без «провалов» на холостом ходу и большого расхода топлива.

Первым прототипом двигателя был оснащен автомобиль универсал Saab 9-5 еще в начале двухтысячных годов. Уже тогда эффективность мотора оказалась на 30 % выше серийного агрегата, расход топлива уменьшился на треть, а уровень выбросов оксидов азота оказался в разы ниже. Однако технология еще требовала доработки и адаптации под массовое применение.

В дальнейшем работы продолжились с разной степенью успеха, но только к 2016 г. компания Koenigsegg представила усовершенствованный в значительной степени и *принципиально новый двигатель внутреннего сгорания без распределительного вала системы FreeValve*. В том же 2016 г. на автосалонах в Китае группа компаний (шведские Koenigsegg и FreeValve, а также китайско-израильский стартап Qoros) представили прототип концепт-кара Qoros QamFree с усовершенствованным двигателем, где вместо традиционного распределительного вала использовались управляемые электроникой актуаторы клапанов с новой технологией FreeValve, и концепт хэтчбека Qoros 3 City SUV с первым серийным двигателем без распределительного вала технологии FreeValve объемом 1,6 л, способным развивать мощность 230 л. с. и 320 Н·м крутящего момента со сниженным расходом топлива на 15 %.

Мощность представленных двигателей FreeValve на 30 % больше, имеет более высокий крутящий момент при низких оборотах, по сравнению с традиционными ДВС с распредвалами того же объема, но при этом на 20–50 % экономичней и с меньшим на 50 % выбросом вредных веществ в атмосферу. Расход топлива на 15–20 % ниже, чем у среднего двухлитрового двигателя с прямым впрыском. За счет отказа от распредвалов, дроссельной заслонки и соответствующего навесного оборудования двигателя компактнее и легче традиционных ДВС.

Двигатель с независимыми клапанами высоконадежен благодаря тому, что при отказе привода клапана поврежденным оказывается только один цилиндр, остальные при этом остаются работоспособными. В традиционных же двигателях при обрыве ремня газораспределительного механизма (ГРМ) поршни сталкиваются с клапанами сразу во всех цилиндрах. Независимая работа клапанов позволяет двигателю сохранять работоспособное состояние даже при поломке нескольких приводов клапанов с не критичной потерей мощности.

ДВС FreeValve адаптивен к работе как на бензине с различным октановым числом, так и на дизельном топливе, может поочередно работать в любом из трех циклов: Отто, Миллера,

Аткинсона, – а также способен воспроизводить цикл Хедмана с изменяемой степенью сжатия. При необходимости двигатель легко можно преобразовать в двухтактный, почти двукратно нарастив мощность.

В марте 2020 г. компания Koenigsegg представила суперкар *Koenigsegg Gemera (Tiny Friendly Giant (TFG))* с новым трехцилиндровым двигателем из алюминиевого сплава без распределительного вала, оснащённым системой индивидуального привода клапанов *FreeValve* объемом 2,0 л с двухступенчатым наддувом. Его мощность составляет 598 л. с. (440 кВт), а крутящий момент достигает 600 Н·м в диапазоне от 2000–7000 об/мин. Двигатель, как и предыдущие его версии, компактен и весит не более 70 кг.

Высокая экологичность двигателя с системой индивидуального привода клапанов обеспечивается принципом работы клапанов, которые настроены на внутреннюю рециркуляцию отработанных газов и смешивание их со свежим воздухом. По сравнению с традиционными двигателями, TFG чище на 60 %. Впускной и выпускной клапаны открываются и закрываются при любом угле поворота коленчатого вала и на любой желаемой высоте подъема, что способствует снижению расхода топлива и количества выбросов при сохранении высоких крутящего момента и мощности. По заявлению компании, двигатель TFG способен работать на самом различном топливе, а при использовании биоэтанола загрязнение углекислым газом CO₂ полностью исключается, т.е. двигатель становится экологически нейтральным.

Каждый из пары турбокомпрессоров двигателя имеет собственные выпускные клапаны цилиндров. При низких нагрузках включается лишь одна турбина, а вторая подключается для достижения максимальной мощности.

Особенностью двигателя TFG является возможность принудительного перехода к циклу Миллера с помощью электроники. Степень сжатия при этом снижается, что позволяет использовать энергию расширяющихся в цилиндрах газов. Как следствие, снижается расход топлива и увеличивается мощность двигателя.

Экономить топливо также позволяет особая технология отключения отдельно взятого цилиндра закрытием на нем всех клапанов. В целом экономия топлива составляет 15–20 % в сравнении с современными четырехцилиндровыми двухлитровыми ДВС с непосредственным впрыском и регулируемым распределительным валом.

Двигатель TFG может использоваться как основной силовой агрегат, так и в составе гибридных силовых установок.

Однако по-прежнему нерешенным остается вопрос с повышенными шумностью двигателей без распределительных валов, завышенными вибрациями и стоимостью. Снизить стоимость, по мнению компании-разработчика, возможно за счет массового производства двигателей и передачи системы управления искусственному интеллекту.

Двигатель без распределительного вала Швейцарской федеральной лаборатории материаловедения и технологий (EMPA) [9, 10]

Еще один ДВС без распредвала создан в отделе автомобильных силовых агрегатов Швейцарской федеральной лаборатории по материаловедению и технологиям (EMPA).

Преследуя цель создания надёжной и экономичной системы клапанов ДВС, компания разработала электрогидравлический клапанный привод *FlexWork* без использования пневматики (рис. 1).

Технология *FlexWork*, как и технология *FreeValve*, позволяет отказаться от распределительного вала и дроссельной заслонки и значительно повысить эффективность двигателя. Стендовые испытания в течение практически одного года типичного легкового автомобиля TSI Volkswagen, работающего на природном газе, с установленным на него новым клапанным механизмом показали снижение расхода топлива на 20 %. Открытие и закрытие клапанов осуществляется цифровым управлением, позволяющим уменьшить себестоимость производства двигателя.

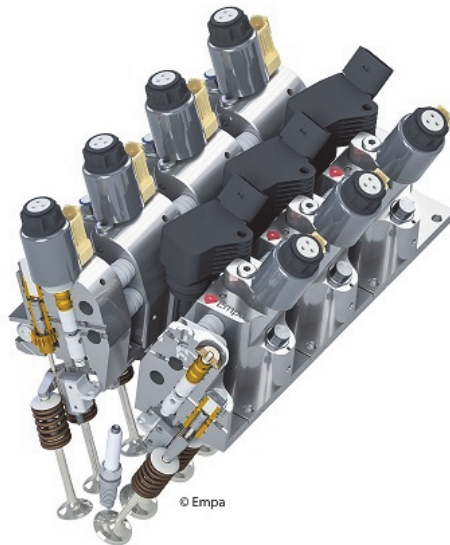


Рис. 1. Электрогидравлическая клапанная система (привод FlexWork в разрезе) [10]
Fig. 1. Electrohydraulic valved system (drive FlexWork in a cut) [10]

Клапаны двигателя лаборатории EMPA приводятся в действие гидравликой под управлением электрического тока через электромагнитную катушку. При подаче напряжения на обмотку открывается гидравлический клапан, позволяя жидкости мгновенно открыть газообменный клапан до нужной величины. После снятия напряжения клапан закрывается с помощью пружины, возвращая большую часть энергии, затраченной на открывание, в гидравлическую систему. Такая система обеспечивает значительно более низкое энергопотребление, чем традиционный газораспределительный механизм, и в сочетании с оптимизированным газораспределением даёт экономию топлива.

Технология обеспечивает возможность выбирать без ограничений параметры работы, время открытия и закрытия клапана для каждого цилиндра, автоматически отключать или включать цилиндры, что позволяет системе самостоятельно управлять работой двигателя. С помощью интеллектуального управления нагрузкой может выбираться определенное количество газа, остающегося в цилиндре.

Система FlexWork позволяет двигателю довольно легко адаптироваться к различным видам топлива, включая возобновляемые.

В двигателе возможна реализация альтернативных видов зажигания топливной смеси, например, самовозгорание топливно-воздушной смеси в нужный момент без искр зажигания. При этом смесь сгорает практически без загрязнения окружающей среды.

Еще одной особенностью системы FlexWork является возможность использования в качестве рабочей жидкости гидравлической системы не масла, а водно-гликолевой смеси, т.е. воды, охлаждающей двигатель.

Двигатели концерна Mazda [11–13]

Японский автомобильный концерн Mazda создал и активно внедряет в производство серию инновационных двигателей SkyActiv (Mazda SkyActiv-G и двигатели нового поколения Mazda SkyActiv-D и Mazda SkyActiv-X), отвечающих экологическим стандартам Euro 5 и Euro 6 в Европе, Post New Long-Term Regulations – в Японии, Tier 2 Bin 5 – в Северной Америке без дорогостоящей дополнительной системы нейтрализации вредных выбросов, имеющих повышенную мощность и сниженный расход топлива.

Дизельный двигатель Mazda SkyActiv-D 2,2. Наиболее важной особенностью нового двигателя является самая низкая степень сжатия (14,1 : 1) среди всех дизельных двигателей, соответствующих установленным нормам вредных выбросов, благодаря чему топливо впрыс-

квивается намного раньше, чем в обычных двигателях, и поэтому успевает сгореть полностью, минимизируя количество выбросов оксидов азота.

За счет уменьшения внутреннего трения движущихся механических частей (общее механическое трение двигателя снизилось на 30 %) увеличивается КПД и повышается эффективность двигателя.

Применение двухступенчатого турбокомпрессора новой конструкции значительно увеличило крутящий момент (до 210 Н·м) на низких и высоких оборотах. Оба турбокомпрессора вместе обеспечивают двигателю «ровную кривую крутящего момента на низких оборотах и высокую мощность на высоких оборотах». Благодаря достаточной подаче воздуха от турбокомпрессоров в широком диапазоне скоростей выбросы оксидов азота и твердых частиц остаются минимальными. В созданных условиях расход топлива снижается более чем на 20 % по сравнению с обычными дизельными двигателями.

Более низкие значения максимального давления в цилиндрах при сниженной степени сжатия сократили нагрузки на другие элементы двигателя, что позволило изготавливать блок цилиндров из менее прочного, но более легкого сплава алюминия, уменьшающего вес двигателя примерно на 10 %.

Посредством изменения конструкции выпускной системы, используя схему выпуска 4-2-1 (четыре первичные трубы выходят из головки блока цилиндров и сливаются в две вторичные трубы, которые, в свою очередь, в конечном итоге соединяются, образуя один коллектор двигателя), выхлопные газы направляются в воздух поочередно. Такая схема позволяет снизить сопротивление во время выпуска отработавших газов. За счет быстрого и легкого отвода выпускных газов достигается дополнительное понижение температуры в камере сгорания. Объем отработанных газов уменьшается в два раза. Одновременно система корректировки фаз на впускном и выпускном распределительных валах улучшает газообмен, а цилиндры небольшого диаметра и увеличенный ход поршня способствуют более слабому нагреву камер сгорания.

Дизельный двигатель Mazda SkyActiv-D 2,2 с турбонаддувом хорошо зарекомендовал себя на кроссоверах Mazda CX-5 2019–2021 гг. выпуска.

Бензиновый двигатель Mazda SkyActiv-X 2.0. Еще одной новинкой компании Mazda является бензиновый двигатель SkyActiv-X 2.0, в котором используется инновационная технология SPCCI (Spark Controlled Compression Ignition), сочетающая искровое зажигание бензинового двигателя с воспламенением от сжатия дизельного двигателя. Работая в системе SPCCI, двигатель способен переключаться с топливовоздушной смеси 14,7 : 1 обычного бензинового двигателя на обедненную смесь более 29,4 : 1.

Когда двигатель «холодный» или работает на высоких оборотах, свечи зажигания воспламеняют топливную смесь обычным образом. При работе двигателя в режиме обедненной смеси, свечи зажигания зажигают импульс богатой топливом смеси, впрыскиваемой в центр цилиндров под сверхвысоким давлением во время такта сжатия, что в свою очередь вызывает воспламенение от сжатия с быстрым и равномерным горением и способствует более мощному ходу поршня. Момент сгорания регулируется пламенем свечи зажигания.

Обедненная гомогенная топливно-воздушная смесь сжимается, пока не приблизится к точке спонтанного воспламенения (16 : 1), что немного ниже уровня, необходимого для воспламенения от сжатия. Чтобы воспламенить смесь в нужное время, небольшой впрыск распыленного топлива непосредственно вокруг свечи зажигания образует более богатую зону, которая при воспламенении создает волну давления, проходящую через камеру сгорания, увеличивая сжатие и температуру до критической точки, при которой сгорает основная часть топлива. Изменением мощности можно управлять с помощью всасываемого первого заряда и второго заряда, впрыскиваемого незадолго до того, как поршень достигнет своего оптимального положения. Это значительно расширяет область работы на обедненной смеси и способствует высокой экономии топлива.

Применение технологии SPCCI в двигателе SkyActiv-X по сравнению с бензиновым двигателем предыдущего поколения SkyActiv-G позволяет увеличить на 10–30 % крутящий момент, повысить топливную эффективность на 20–30 %, уменьшить на 15–30 % количество выбросов углекислого газа за счет использования обедненной смеси.

Двигатель Skyactiv-X с 2020 г. устанавливается на автомобилях седан и хэтчбек Mazda 3 нового поколения и кроссоверах Mazda CX-30.

Двигатель с использованием технологии керамических мембран (МИЕС) [14, 15]

Учеными Политехнического университета Валенсии (Universitat Politècnica de València, UPV, Испания) разработан новый ДВС, который практически не выделяет выхлопных газов, соответствует нормативам по выбросам отработанных газов, запланированным до 2040 г., и сопоставим по экологической чистоте с электродвигателями. Кроме того, ДВС отличается высоким КПД. Как заявляют разработчики, на сегодняшний день более экологически чистых аналогов ДВС данному двигателю нет. Первые прототипы этого двигателя находятся на стадии изготовления.

Применяемая технология основана на использовании керамических мембран МИЕС, запатентованных Валенсийским институтом химических технологий (ITQ). Мембраны, встроенные в двигатель, отделяют от воздуха кислород, необходимый для сжигания топлива, улавливая молекулы оксидов азота NOx и одновременно захватывая углекислый газ CO₂.

Конструкция двигателя позволяет сжигать отделенный углекислый газ без удаления CO₂ через выхлопную систему, который хранится под давлением в специальном резервуаре, встроенном в транспортное средство, и в дальнейшем может использоваться для промышленных нужд.

Поскольку в систему должны быть встроены два бака (топливный и для хранения углекислого газа), применять эту технологию возможно на крупногабаритных транспортных средствах.

Двигатель Astron Aerospace (США) [16, 17]

Двигатель внутреннего сгорания с очень низким уровнем вредных выбросов представила компания Astron Aerospace (США) под названием Omega 1, который разработчики позиционируют как альтернативу электродвигателям (рис. 2, а).

Как утверждает компания, двигатель Omega 1 является первым в мире с активной линейной передачей мощности (при работе ДВС вся мощность передается через единственный вращающийся вал силовой передачи). Новый компактный двигатель мощнее, легче, эффективнее и проще, чем любой турбинный двигатель. Уплотнение роторов не требуется, так как допустимые отклонения от номинальных размеров деталей минимальные, а высокие обороты двигателя при работе «не оставляют времени для утечки воздуха».

На сегодняшний день уже создан рабочий прототип двигателя, развивающий мощность до 160 л. с. при крутящем моменте 230 Н·м и весе всего 15,9 кг.

Четыре такта этого двигателя «распределены» на две независимые камеры сгорания, между которыми находится форсажная камера. Два первичных вала расположены вертикально и соединены синхронизирующими шестернями, вращающимися синхронно, но в противоположных направлениях с одинаковой скоростью. Четыре ротора размещены на двух валах и вращаются двумя парами, одна из которых отвечает за такты впуска и сжатия, а другая – за такты сгорания и выпуска. Форкамера и поворотный дисковый клапан находятся между двумя наборами роторов.

Как и в роторном двигателе Ванкеля, в Omega 1 отсутствуют смещенный кривошипно-шатунный механизм, эксцентриковый вал или поршни, совершающие возвратно-поступательное движение, но в отличие от него разработанный двигатель имеет предкамеру, которая отделяет холодный впускной воздух от выхлопных газов, исключая проблему перекрытия клапанов.

Улучшенное сгорание и высокая эффективность достигаются за счет принудительного впуска воздуха с наддувом при давлении от 200 до 300 фунтов на квадратный дюйм, тогда как обычные нагнетатели повышают давление сгорания всего на 6–35 фунтов на квадратный дюйм.

Небольшой и компактный мощный двигатель имеет сниженный расход топлива и производит очень небольшое количество вредных выбросов. Уровень износа движущихся механизмов из-за трения минимальный, благодаря чему ожидаемое время между капитальными ремонтами не менее, а даже более 100 000 ч.

Устанавливать новый двигатель можно будет на любые малогабаритные транспортные средства, работающие на различных видах жидкого топлива. Вместе с тем конструкция Omega 1 позволяет одновременно устанавливать несколько двигателей один за другим, постепенно наращивая мощность, что расширяет его возможности и области применения (рис. 2, б).

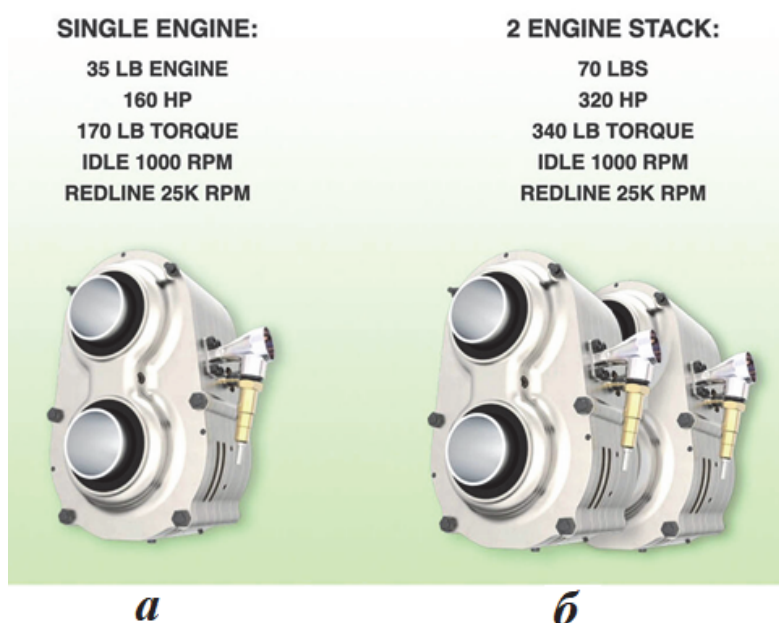


Рис. 2. Двигатели Omega 1 (Astron Aerospace): а – один двигатель; б – два спаренных двигателя [16]

Fig. 2. Engines Omega 1 (Astron Aerospace): a – single engine; б – two engine stack [16]

Двигатель без кривошипно-шатунного механизма [18–22]

Специалисты инженеринговой компании «Интер Мотор Групп» (Россия, Сколково) под научным руководством профессора В.П. Бойкова создали ДВС нового поколения без кривошипно-шатунного механизма (КШМ), предназначенного для осуществления процесса передачи энергии поршней на выходной вал двигателя. Взамен КШМ учеными разработано уникальное устройство отбора мощности (УОМ). Новый двигатель защищен Евразийским патентом и на данный момент не имеет мировых аналогов.

УОМ преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение выходного вала и отличается более экономичным преобразованием видов движения по сравнению с кривошипно-шатунным механизмом за счет того, что четырехтактный цикл происходит за один оборот выходного вала. Проведенные исследования и расчеты, а также испытания опытного образца показали его значительные энергетические и экономические преимущества перед кривошипно-шатунным механизмом: КПД двигателя повысился до 50–

55 %; расход топлива уменьшился на 30–40 % и, как следствие, количество вредных выбросов снизилось до 40 %; габариты и вес двигателя уменьшились на 25 %. Двигатель отвечает современным и перспективным экологическим требованиям без потери мощности. Кроме того, применение УОМ позволило исключить из конструкции двигателя приводные ремни, цепи и уравнивающие механизмы.

Устройство отбора мощности представлено на рис. 3.

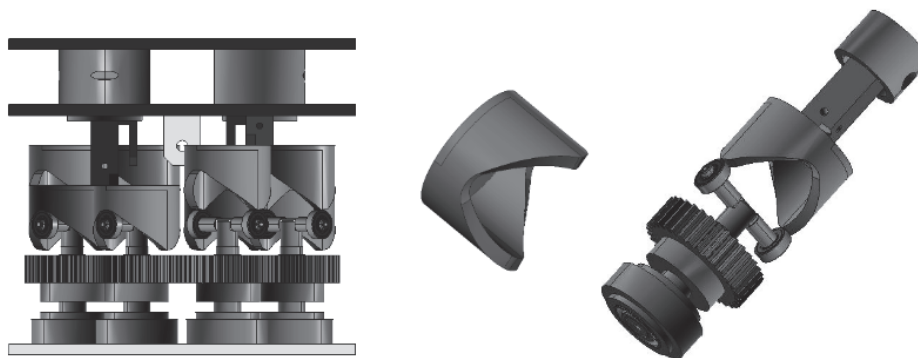


Рис. 3. Устройство отбора мощности (Россия, Сколково) [19]

Fig. 3. The power take-off device (Russia, Skolkovo) [19]

Предлагаемый двигатель с инновационным устройством отбора мощности может быть применен для различных транспортных средств (судов, легковых и грузовых автомобилей, тракторов, летательных аппаратов и др.) и работать на бензиновом, дизельном, газовом, керосиновом, водородном и других видах топлива.

В табл. 1 и 2 приведен сравнительный анализ характеристик некоторых серийных ДВС и модернизированных двигателей нового поколения на примере катеров, судов, легковых транспортных средств (автомобилей).

Таблица 1

**Характеристики серийных ДВС и модернизированных двигателей
нового поколения (ДВС НП) для судов и катеров [21]**

Table 1

**Characteristics serial ДВС and the modernised engines (ДВС НП)
of the new Generations for courts and boats [21]**

ДВС для судов и катеров	Тип двигателя			
	ВУКН D2-75	ДВС НП	MAN D 2842 LE	ДВС НП
Вид топлива	Дизель			
Диаметр цилиндра, мм	84	80	128	1115
Ход поршня, мм	100	60	142	136
Число цилиндров	4	4	12	8
Рабочий объем, л	2,2	1,2	21,9	11,2
Сухая масса, кг	258	195	1790	1250
Максимальная мощность, кВт	55	55	662	670
Частота вращения, об/мин	3000	1500	2100	1050
Расход топлива, при макс. мощности, кг/ч	12,1	7,0	145	86

Окончание табл. 1

ДВС для судов и катеров	Тип двигателя			
	MAN E0836 E312	ДВС НП	MWM TCG 3016	ДВС НП
Вид топлива	Газ			
Диаметр цилиндра, мм	108	90	132	132
Ход поршня, мм	125	90	160	160
Число цилиндров	4	4	8	4
Рабочий объем, л	4,6	2,3	17,5	8,8
Сухая масса, кг	430	290	1420	750
Максимальная мощность, кВт	68	68	427	410
Частота вращения, об/мин	1800	900	1500	750
Расход топлива, при макс. мощности, кг/ч	10,9	6,3	68,7	39,1

Таблица 2

**Характеристики серийных ДВС и модернизированных двигателей
нового поколения (ДВС НП) для легковых автомобилей [21]**

Table 2

**Characteristics serial ДВС and the modernised engines (ДВС НП)
of the new Generations for cars [21]**

ДВС для легкового автомобиля	Тип двигателя и топлива					
	Бензин		Дизель		Газ	
	ДВС НП	VW 1.2TSI (EA111)	ДВС НП	VW 1.6TDI (CAVC)	ДВС НП	VW 1.4TGI Blue Motion
Рабочий объем двигателя, л	0,588	1,197	0,809	1,598	0,710	1,395
Номинальная мощность, л. с.	101	105	104	102	107	110
при частоте вращения, об/мин	2500	5000	2200	4400	3000	6000
Максимальный крутящий момент, Н·м	348	175	465	230	395	200
при частоте вращения, об/мин	1400	2800	1000	2000	1300	2500
Расход топлива, л/100 км	3,7	5,9	3,9	6,5	2,9	4,5

Заключение

Проведенное исследование инновационных технологий в области двигателей внутреннего сгорания является далеко неполным, но и этот охват позволяет сделать вывод, что преимущества применения ДВС с реализацией новейших технологий на современном этапе развития техники и технологий очевидны. Совершенствование рабочих процессов и конструкций двигателей внутреннего сгорания позволило получить высокие технические параметры и снизить уровень вредных выбросов до уровня современных экологических стандартов. Вместе с тем следует отметить необходимость, целесообразность и возможность дальнейшего развития двигателей внутреннего сгорания в направлении повышения КПД, уменьшения массы и габаритов, снижения стоимости, повышения топливной экономичности и экологической безопасности.

Список источников

1. Пути перехода к устойчивой энергетике. Серия публикаций ЕЭК ООН по энергетике № 67. Женева: ООН, 2020. С. 60 [Электронный ресурс]. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/PATHWAYS/Home/FINAL_Report_-_Pathways_to_Sustainable_Energy_-_RUSSIAN.pdf (дата обращения: 10.12.2022).
2. Международное энергетическое агентство (МЭА) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/> (дата обращения: 10.12.2022).
3. Tracy D.A Detailed Look At The Koenigsegg Gemera's Mind-Blowing Engineering // JALOPNIK, March 9, 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://jalopnik.com/a-detailed-look-at-the-koenigsegg-gemeras-mind-blowing-1842073757> (дата обращения: 10.12.2022).
4. 1,6-литровый двигатель без распредвала от Qoros 3 развивает 230 лошадиных сил // 1GAI.ru, 22.11.2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://1gai.ru/autonews/517688-16-litrovyy-dvigatel-bez-raspredvala-ot-qoros-3-razvivaet-230-loshadinyh-sil.html> (дата обращения: 10.12.2022).
5. Бондарь А. ДВС без ГРМ // Энергознание, 28.03.2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energovector.com/energoznanie-dvs-bez-grm.html> (дата обращения: 10.12.2022).
6. Апресов С. Может ли двигатель работать без ГРМ? // Автомобили, 20.11.2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.poromech.ru/vehicles/237446-kak-rabotaet-dvigatel-bez-grm/> (дата обращения: 10.12.2022).
7. Двигатель без распредвалов. Технология FreeValve // 24TG - АВТОМОБИЛЬНЫЙ ПОРТАЛ [Электронный ресурс]. URL: <https://24techno-guide.ru/dvigatel-bez-raspredvalov-tehnologiya-freevalve.php> (дата обращения: 10.12.2022).
8. Гронский Я. Как устроен революционный двигатель без распредвала // Motor, 18.01.2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://motor.ru/lab/koenigsegg.htm> (дата обращения: 10.12.2022).
9. Klose R. Innovative valve train saves 20 % fuel // Powertrain technology, August 19, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.empa.ch/web/s604/flexwork> (дата обращения: 10.12.2022).
10. Барский Р. Двигатель без распределительного вала. Инновационная система клапанов экономит 20 % топлива // Наука и техника, 01.09.2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://naukatehnika.com/dvigatel-bez-raspredelitel'nogo-vala-1.html> (дата обращения: 10.12.2022).
11. Mazda's new SKYACTIV-X engine has potential to rival C02 of EVs when measured 'well-to-wheel' // News and Features from Mazda UK PR, March 13, 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.insidemazda.co.uk/2018/03/13/mazdas-new-skyactiv-x-engine-has-potential-to-rival-c02-of-evs-when-measured-well-to-wheel/> (дата обращения: 10.12.2022).
12. SKYACTIV-X with Spark Controlled Compression Ignition (SPCCI) // News and Features from Mazda UK PR, JUN 15, 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.insidemazda.co.uk/2018/06/15/skyactiv-x-with-spark-controlled-compression-ignition-spcci/> (дата обращения: 10.12.2022).
13. Skyactiv Technology. Revolution that Takes Cars to the Next Level [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mazda.com/en/archives/skyactiv/> (дата обращения: 10.12.2022).
14. New internal combustion engine that does not emit harmful gases or carbon dioxide // Asociacion RUVID, August 25, 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://techxplore.com/news/2020-08-internal-combustion-emit-gases-carbon.html> (дата обращения: 10.12.2022).
15. Kulikowska-Wielgus A. Невозможное становится возможным. Испанцы строят двигатель внутреннего сгорания, который не выделяет выхлопных газов // Trans.INFO, 09.10.2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://trans.info/ru/nevozmozhnoe-stanovitsya-vozmozhnyim-ispantsyi-stroyat-dvigatel-vnutrennego-sgoraniya-kotoryiy-ne-vyidelyaet-vyihloponyih-gazov-203516> (дата обращения: 10.12.2022).

16. The race to zero is over! // Astron Aerospace [Электронный ресурс]. URL: <https://astronaerospace.com/> (дата обращения: 10.12.2022).
17. Шапиро К. Альтернатива электромоторам. Принципиально новый тип двигателя внутреннего сгорания // Наука и техника, 31.01.2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://naukatehnika.com/serialno-novuj-tip-dvs.html> (дата обращения: 10.12.2022).
18. Инновационный проект «МОТОР – ЗЕЛЕНЫЙ МУРАВЕЙ» // ООО «Интер Мотор Групп» [Электронный ресурс]. URL: <https://idip.info/upload/iblock/ae6/ae683c725f8190e878735dbc5f8ce682.pdf> (дата обращения: 10.12.2022).
19. Приложения, исследования, расчеты // ООО «Интер Мотор Групп» [Электронный ресурс]. URL: https://156eebd9-59f4-4ef2-b47c-9eef12d4b542.filesusr.com/ugd/047073_8129abbae6c94b1cab7dc6ecd2f2c652.pdf (дата обращения: 10.12.2022).
20. Pozdnyakov N. Technology. Innovative and environmental startup project // MOTOR Green Ant [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eco-dvs.com/tehnologii> (дата обращения: 16.03.2022).
21. Сравнение показателей серийных ДВС и модернизированных ДВС нового поколения // ООО «Интер Мотор Групп» [Электронный ресурс]. URL: https://156eebd9-59f4-4ef2-b47c-9eef12d4b542.filesusr.com/ugd/047073_91c71c1092d7416e81c00890abc8f94d.pdf (дата обращения: 10.12.2022).
22. Пат. 025961 В1 Евразийское патентное ведомство. Устройство отбора мощности от двигателя внутреннего сгорания / Шаплыко П.В.; заявитель и патентообладатель Шаплыко П.В. № 201600173 (22); заявл. 28.01.2016; опубл. 28.02.2017, Евразийская патентная организация, ЕАПВ. 12 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eapo.org/ru/publications/bulletin/ea201702/html/025961.html> (дата обращения: 10.12.2022).

References

1. Transition ways to steady power. A series of publications ЕЭК the United Nations on power № 67. Geneva: the United Nations, 2020. With. 60 [Electronic resource]. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/PATHWAYS/Home/FINAL_Report_-_Pathways_to_Sustainable_Energy_-_RUSSIAN.pdf (date of access: 10.12.2022).
2. The international power agency (IAP) [Electronic resource]. URL: <https://www.iea.org/> (date of access: 10.12.2022).
3. Tracy D.A Detailed Look At The Koenigsegg Gemera's Mind-Blowing Engineering // JALOPNIK, March 9, 2020 [Electronic resource]. URL: <https://jalopnik.com/a-detailed-look-at-the-koenigsegg-gemeras-mind-blowing-1842073757> (date of access: 10.12.2022).
4. 1,6-litre engine without a cam-shaft from Qoros 3 develops 230 hp // 1GAI.ru, 22.11.2016 [Electronic resource]. URL: <https://1gai.ru/autonews/517688-16-litrovyy-dvigatel-bez-raspredvala-ot-qoros-3-razvivaet-230-loshadinyh-sil.html> (date of access: 10.12.2022).
5. Bondar A. IC-engine without VVTS // Power knowledge, 28.03.2020 [Electronic resource]. URL: <https://www.energovector.com/energoznanie-dvs-bez-grm.html> (date of access: 10.12.2022).
6. Apresov C. As the engine without a gas distribution mechanism // Cars works, 23.10.2021 [Electronic resource]. URL: <https://www.popmech.ru/vehicles/237446-kak-rabotaet-dvigatel-bez-grm/> (date of access: 10.12.2022).
7. The engine without camshafts. Technology FreeValve // 24TG - AUTOMOBILE PORTAL [Electronic resource]. URL: <https://24techno-guide.ru/dvigatel-bez-raspredvalov-tehnologiya-freevalve.php> (accessed on: 10.12.2022).
8. Gronskiy I. As the revolutionary engine without a camshaft is arranged // Motor, 18.01.2016 [Electronic resource]. URL: <https://motor.ru/lab/koenigsegg.htm> (date of access: 10.12.2022).
9. Klose R. Innovative valve train saves 20 % fuel // Powertrain technology, August 19, 2019 [Electronic resource]. URL: <https://www.empa.ch/web/s604/flexwork> (date of access: 10.12.2022).

10. Barskiy R. The engine without a cam shaft. The innovative system of valves saves 20 % of fuel // the Science and technics, 01.09.2019 [Electronic resource]. URL: <https://naukatehnika.com/dvigatel-bez-raspreditel'nogo-vala-1.html> (date of access: 10.12.2022).
11. Mazda's new SKYACTIV-X engine has potential to rival CO₂ of EVs when measured 'well-to-wheel' // News and Features from Mazda UK PR, March 13, 2018 [Electronic resource]. URL: <https://www.insidemazda.co.uk/2018/03/13/mazdas-new-skyactiv-x-engine-has-potential-to-rival-co2-of-evs-when-measured-well-to-wheel/> (date of access: 10.12.2022).
12. SKYACTIV-X with Spark Controlled Compression Ignition (SPCCI) // News and Features from Mazda UK PR, JUN 15, 2018 [Electronic resource]. URL: <https://www.insidemazda.co.uk/2018/06/15/skyactiv-x-with-spark-controlled-compression-ignition-spcci/> (date of access: 10.12.2022).
13. Skyactiv Technology. Revolution that Takes Cars to the Next Level [Electronic resource]. URL: <https://www.mazda.com/en/innovation/technology/skyactiv/> (date of access: 10.12.2022).
14. New internal combustion engine that does not emit harmful gases or carbon dioxide // Asociacion RUVID, August 25, 2020 [Electronic resource]. URL: <https://techxplore.com/news/2020-08-internal-combustion-emit-gases-carbon.html> (date of access: 10.12.2022).
15. Kulikowska–Wielgus A. Impossible becomes possible. Spaniards build an internal combustion engine which does not allocate some exhaust gases // Trans.INFO, 10.12.2020 [Electronic resource]. URL: <https://trans.info/ru/nevozmozhnoe- stanovitsya-vozmozhnyim-ispantsyi-stroyat-dvigatel-vnutrennego-sgoraniya-kotoryiy-ne-vyidelyaet-vyihlopnnyih-gazov-203516> (date of access: 10.12.2022).
16. The race to zero is over! // Astron Aerospace [Electronic resource]. URL: <https://astronaerospace.com/> (date of access: 10.12.2022).
17. Shapiro K. Alternative of electroengine mounts. Essentially new type of an internal combustion engine//the Science and technics, 31.01.2022 [Electronic resource]. URL: <https://naukatehnika.com/pcipialno-novyj-tip-dvs.html> (date of access: 10.12.2022).
18. Innovative project «MOTOR - GREEN ANT» // Open Company «Inter Motor Groups» [Electronic resource]. URL: <https://idip.info/upload/iblock/ae6/ae683c725f8190e878735dbc5f8ce682.pdf> (date of access: 10.12.2022).
19. Applications, researches, calculations // Open Company «Inter Motor Groups» [Electronic resource]. URL: https://156eebd9-59f4-4ef2-b47c-9eef12d4b542.filesusr.com/ugd/047073_8129abbae6c94b1cab7dc6ecd2f2c652.pdf (date of access: 10.12.2022).
20. Pozdnyakov N. Technology. Innovative and environmental startup project // MOTOR Green Ant [Electronic resource]. URL: <https://www.eco-dvs.com/tehnologii> (date of access: 16.03.2022).
21. Comparison of indicators serial IC-engine and modernised IC-engine new generation // Open Company «Inter Motor Groups» [Electronic resource]. URL: https://156eebd9-59f4-4ef2-b47c-9eef12d4b542.filesusr.com/ugd/047073_91c71c1092d7416e81c00890abc8f94d.pdf (date of access: 10.12.2022).
22. Pat. 025961 B1 The Euroasian patent department. The device of takeoff of capacity from an internal combustion engine / Shapliko P.V.; The applicant and the owner of the patent Shapliko P.V. № 201600173 (22); It is declared 28.01.2016; It is published 28.02.2017, The Euroasian patent organisation. 12 c. [Electronic resource]. URL: <https://www.eapo.org/ru/publications/bulletin/ea201702/html/025961.html> (date of access: 10.12.2022).

Информация об авторах

Т.Е. Коршунова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация и управление транспортом», SPIN-код: 6220-5997, AuthorID: 814437;
Р.Д. Волынец – бакалавр кафедры «Эксплуатация и управление транспортом».

Information about the authors

T.E. Korshunova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Operation and Management, SPIN-code: 6220-5997, AuthorID: 814437;

R.D. Volynets – bachelor of the Department of Transport Operation and Management.

Статья поступила в редакцию 18.01.2023, одобрена после рецензирования 22.03.2023, принята к публикации 23.03.2023.

The article was submitted 18.01.2023, approved after reviewing 22.03.2023, accepted for publication 23.03.2023.