

*С. А. Каргин***ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТРАНСПОРТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК***S. A. Kargin***PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY INCREASING
OF TRANSPORT ENERGY INSTALLATIONS**

Проведен анализ современного состояния развития транспортных энергетических установок и наиболее рациональных направлений повышения эффективности и экологической безопасности мобильных энергоустановок с точки зрения современных научно-технических возможностей. Представлены результаты экспериментов по исследованию, разработке и научному обоснованию принципа комбинированного смесеобразования в двигателях внутреннего сгорания. Предложена схема разработки обобщенной методики расчета показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием. Проведена оценка полученных результатов и рассмотрены пути дальнейшего развития принципа комбинированного смесеобразования.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, судовые дизели, рабочий процесс, комбинированное смесеобразование, воспламенение от сжатия, энергетические установки.

The analysis of the modern condition of the development of transport energy installations and most rational directions of increasing of efficiency and ecological safety of mobile energy installations is given taking into account modern research possibilities. The paper shows the results of experiments in study, development and scientific motivation of the principle of a combined mixture formation in internal combustion engines. It is offered a development scheme of a generalized calculation method of factors of a working cycle of the engine with combined mixture formation. The estimation of the received results is made, and ways of the further development of the principle of the combined mixture formation are considered.

Key words: internal combustion engine, marine diesel, working process, combined mixture formation, compression ignition, energy installation.

Транспортные энергетические установки на базе поршневых ДВС, газовых, паровых, парогазовых турбин и других двигателей являются основными источниками получения механической работы на Земле, которая используется непосредственно либо преобразуется в другой вид энергии. Транспортные энергоустановки являются основными потребителями природного углеводородного сырья и атмосферного воздуха и главными источниками загрязнения среды обитания человека. Ожидаемое истощение запасов природных углеводородов требует от мирового сообщества решения двух очевидных проблем: поиск альтернативных видов топлива и возобновляемых источников энергии и переход на их использование; повышение эффективности (мощности, топливной экономичности, надёжности) существующих энергетических установок для получения выигрыша во времени в связи с необходимостью решения проблем истощения природных запасов и загрязнения окружающей среды с целью получить научные знания, на основе которых можно будет перейти к новым видам транспортной энергетики.

Из всего множества двигателей, составляющих основу транспортных энергетических установок, наивысшими значениями эффективного КПД (η_e) обладают дизельные ДВС – $0,45 \div 0,48$. Для установок с развёрнутыми системами утилизации теплоты η_e достигает 0,55. Тем не менее до 40 % от теплоты, полученной при сгорании топлива, отводится в окружающую среду через систему охлаждения и с отработавшими газами, что составляет так называемые тепловые потери. Таким образом, транспортные энергетические установки нагружают окружающую среду избыточной теплотой, токсичными соединениями в отработавших газах (NO_x , CO_x , CH , C , S и др.), шумом и вибрациями, а также в огромных количествах поглощают атмосферный воздух. Наиболее рациональными направлениями повышения эффективности и экологической безопасности мобильных энергоустановок с точки зрения современных научно-технических возможностей следует считать следующие:

– адиабатизация рабочих процессов в ДВС и их комбинирование с силовыми турбинами и (или) двигателями Стирлинга, утилизирующими теплоту, отводимую от главных двигателей;

- комбинирование тепловых двигателей с электрохимическими генераторами и топливными элементами (гибридные приводы);
- применение анаэробных (воздухонезависимых) энергетических установок с полностью или частично замкнутым газообменом;
- использование в ДВС новых типов рабочих процессов с высокими значениями η_e при сравнительно низких максимальных значениях температуры цикла [1].

Адиабатизация ДВС и их комбинирование с другими двигателями – разработка комбинированной установки на основе адиабатного двигателя, у которого не было бы непроизводительных потерь теплоты в систему охлаждения. Здесь работы идут параллельно по двум направлениям: увеличение энергии отработавших газов за счет перераспределения теплоотвода от рабочего тела при отсутствии системы охлаждения; использование энергии отработавших газов в силовой турбине низкого давления для получения дополнительной мощности на валу и использования энергии отработавших газов в силовой турбине или двигателе с внешним подводом теплоты для той же цели. Основные теплоизолированные компоненты экспериментального двигателя – головка поршня, огневое днище крышки цилиндра, верхний пояс втулки и выпускные каналы, для которых сложно подобрать материалы, удовлетворяющие всем предъявляемым к ним требованиям. Кроме того, еще одной проблемой адиабатного двигателя является проблема смазки, которая должна выдерживать высокую температуру на поверхности цилиндра (480 °С вместо обычных 180÷205 °С). Для решения этой проблемы прорабатывается также вариант с несмазываемыми керамическими подшипниками качения для поршневого пальца и коленчатого вала. Таким образом, создание работоспособного адиабатного двигателя с достаточно высоким ресурсом зависит от успехов материаловедения и на современном этапе развития науки и техники не может полностью решить затронутые проблемы.

Комбинирование тепловых двигателей с электрохимическими генераторами и топливными элементами – гибрид автомобиля и электромобиля. Помимо традиционного ДВС на автомобиле размещается компактный электромотор. Основным тяговым двигателем и источником подзарядки аккумуляторов служит бензиновый агрегат, при разгоне ему помогает электромотор. Однако при торможении электродвигатель переходит в режим генератора, подзаряжая аккумуляторные батареи. Иногда вместо обычных аккумуляторных батарей применяют ультраконденсатор (суперконденсатор). Ультраконденсаторы заряжаются и разряжаются быстрее обычных аккумуляторных батарей. Несмотря на то, что некоторые автомобильные производители уже внедряют гибридные приводы в серийное производство (в основном это японские автогиганты, такие как Honda, Toyota, Lexus), они имеют довольно большую стоимость. Кроме того, многие их достоинства, такие как, например, использование энергии торможения для подзарядки аккумуляторных батарей, не могут в полной мере использоваться в судовых энергетических установках. Именно поэтому использование гибридных приводов следует считать лишь частичным решением рассматриваемых проблем.

Анаэробные энергетические установки являются специфической областью автономной энергетики и могут использоваться на различных объектах, функционирующих без связи с атмосферой. К ним, помимо подводных лодок, относятся подводные аппараты, специальные фортификационные сооружения, орбитальные космические станции и т. д., в связи с чем использование анаэробных энергетических установок также не следует считать кардинальным способом повышения эффективности и экологической безопасности транспортных энергетических установок.

Использование в ДВС новых типов рабочих процессов с высокими значениями η_e следует считать наиболее полно решающим задачи повышения эффективности и экологической безопасности транспортной энергетики. В области автотракторных ДВС положение следует считать относительно нормальным, что вызвано постоянным ужесточением экологических требований (планомерное введение в действие экологических норм Евро-2, -3, -4 и т. д.) и адекватным ответом на них со стороны двигателестроителей. В области судовых энергетических установок положение следует признать более сложным. Улучшения параметров и характеристик судовых двигателей осуществлены посредством непринципиальных, с точки зрения термодинамики, конструктивных усовершенствований, таких как повышение степени наддува, электронное управление впрыском топлива и т. п., а также за счёт применения новых конструкционных материалов, повышения качества топлив и смазок, совершенствования технологии механической обработки деталей и сборки двигателей.

Разработка новых конструкций двигателей – процесс трудо- и капиталоемкий. Использование в проектируемом двигателе большинства современных тенденций двигателестроения влечет за собой удорожание выпускаемой агрегатной единицы, вследствие чего конкурентоспособность такого двигателя несколько снижается, однако это снижение компенсируется снижением эксплуатационных затрат на двигатель. Для потребителя любой конкретной продукции важно соотношение «цена – качество». Качество двигателя определяется надежностью конструкции в целом и отдельных элементов и систем, адаптивностью двигателя к различным типам судов, а также экономичностью и энергетической эффективностью, что во многом определяется качеством протекающего в цилиндре двигателя рабочего процесса.

В этой связи выявляется актуальность поисковых работ по совершенствованию организации рабочего процесса ДВС, которые должны быть направлены на увеличение степени использования химической энергии топлива и тепловой энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффективности, экономичности и снижения степени загрязнения окружающей среды опасными для неё элементами в отработавших продуктах сгорания.

В настоящее время в двигателестроении не отмечается каких-либо попыток конструкторов и инженеров сколько-нибудь улучшить параметры проектируемых ими двигателей со стороны термодинамики рабочих процессов. Различными зарубежными производителями предлагается множество конструктивных мер по повышению технического уровня ДВС. Это и применение в двигателях изменяемой степени сжатия [2, 3], уменьшение диаметра сопловых отверстий форсунок и повышение давления впрыскивания топлива [4], применение топливных систем аккумуляторного типа [4, 5], применение профилированных впускных каналов и оригинальных конструкций поршней и втулок цилиндров, применение различных вариантов систем наддува.

Предлагаемые нетрадиционные способы организации рабочего процесса [6] не получают распространения ввиду того, что все они имеют принципиально одинаковые соотношения между мощностью, литражом и другими технико-экономическими показателями по сравнению с традиционными ДВС. Довольно давно отработывается и организация традиционных рабочих процессов в ДВС на водородном топливе или на топливах растительного происхождения [6], но до её промышленного применения ещё далеко.

В связи с высокими экологическими и экономическими качествами начинает активно применяться газовое топливо. Одно из перспективных направлений – конвертация дизельного ДВС в газодизель. Принцип конвертации довольно простой: от дизеля берется уменьшенная порция топлива (запальная) в пределах 10÷45 % от общей цикловой подачи топлива, остальное компенсируется газоздушной смесью, поступающей через впускной коллектор. Уменьшается токсичность, газодизель по всем параметрам превосходит дизель за исключением мощности в связи с тем, что теплота сгорания газа ниже таковой дизельного топлива. У пропан-бутана перспектив немного, поскольку его получают при перегонке нефти, запасы которой не безграничны. Альтернативы – метан и водород. Например, метан (природный газ) широко используется в качестве топлива для двигателей на судах-газовозах. Однако на других судах метан не используется – в отличие от пропан-бутана более легкие газы не обеспечивают большого запаса хода, т. к. топливного резервуара хватает ненадолго – предлагают использовать не сжатый, а сжиженный газ. Кроме высокой пожаро- и взрывоопасности в судовых условиях, есть ещё одна проблема – он долго не хранится. Следует заметить, что на автомобильном транспорте применение газового топлива вызывает меньше проблем и распространено более широко.

Инженерная мысль не стоит на месте, и каждый год конструкторы предлагают множество моделей двигателей, порой фантастических.

Например, роторно-волновой двигатель (патент России № 2155272, автор И. П. Седунов) [7], шаровой двигатель Hüttlin (Хюттлин) [8], бескрейшпипный бесшатунный двигатель [9], революционный двигатель DiesOtto фирмы Мерседес [10], совмещающий в себе особенности дизельных и бензиновых двигателей. Предлагаются бесшатунные конструкции ДВС [11], усовершенствованные роторно-поршневые ДВС [12]. Конструкторы все чаще обращаются к давно известным конструкциям двигателей Кушуля [13], имеющего бездымный выхлоп, и Ванкеля [14], осуществляют попытки развивать предложенные полвека назад концепции шторкового и гильзового газораспределения [15] и др.

Анализируя характеристики ДВС, в которых реализуются перечисленные выше конструкции и предложения, можно выделить следующие их особенности, ограничивающие их широкое применение в транспортных энергетических установках:

- сложность конструкции, и, как следствие, снижение надежности и сложность технологии изготовления деталей и узлов;
- применение новых или существующих оригинальных, а следовательно, дорогостоящих конструкционных материалов;
- узконаправленная адаптивность ДВС для конкретного типа энергетической установки;
- применение новых, зачастую более дорогих видов топлива и смазочных материалов, исключение принципа многотопливности;
- редкое сочетание высокой экономичности и экологической безопасности в одном агрегате;
- сложность в обслуживании и эксплуатации, потребность в повышенной квалификации обслуживающего персонала.

Таким образом, можно сделать вывод, что подавляющее большинство предлагаемых современных конструкций предполагают использование механизмов преобразования движения, отличных от классических кривошипно-шатунных механизмов. Однако хорошо отлаженные технологии производства традиционных поршневых ДВС, позволяющие обеспечить высокий ресурс, оставляют их вне конкуренции, а значит, современные ДВС, совершенствуясь, пока сохраняют свое положение. Предлагаемые способы улучшения организации рабочего процесса требуют применения дорогостоящего синтетического топлива.

Таким образом, несомненно, актуальной является необходимость поисковых работ именно по совершенствованию организации рабочего процесса ДВС, которые должны быть направлены на увеличение степени использования химической энергии топлива и тепловой энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффективности, экономичности и снижения степени загрязнения окружающей среды опасными для неё элементами в отработавших продуктах сгорания.

В ходе экспериментальных исследований по увеличению степени использования химической энергии топлива и тепловой энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффективности, экономичности и снижения степени загрязнения окружающей среды опасными для неё элементами в отработавших продуктах сгорания, проведенных в лаборатории кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники» при Астраханском государственном техническом университете, был получен ряд экспериментальных индикаторных диаграмм дизеля 2Ч 9,5/11 при организации в них запатентованных способов организации рабочего процесса (комбинированное смесеобразование с принудительным воспламенением [16] и с воспламенением от сжатия [17]). Кроме того, осуществлялись попытки применить наддув для данных рабочих процессов, которые в настоящее время ограничены отсутствием агрегата наддува, имеющего удовлетворительные показатели и стоимость. Для выявления достоинств и недостатков предложенных рабочих процессов был произведен анализ полученных экспериментальных данных. Это эти рабочие процессы были предложены впервые, и каких-либо методик расчета показателей этих процессов не существует. Таким образом, необходимо было разработать методику расчета показателей рабочего цикла двигателей с комбинированным смесеобразованием.

Комбинированное смесеобразование с принудительным воспламенением предполагает следующую технологию организации рабочего процесса: необходимо осуществить ввод части цикловой подачи топлива (около 40 %) при такте впуска во всасывающий тракт ДВС через какое-либо дозирующее устройство, а оставшееся топливо должно быть впрыснуто в цилиндр через форсунку в конце такта сжатия. Рабочий процесс осуществляется при термодинамически оптимальной степени сжатия $\epsilon = 13$, а цикловая подача топлива рассчитывается исходя из значения $\alpha = 1,05 \div 1,1$. Двигатель должен быть оборудован системой принудительного воспламенения рабочей смеси, характерной для двигателей с внешним смесеобразованием [6].

При реализации предлагаемой организации рабочего процесса время, отводимое на смесеобразование и физико-химическую подготовку топлива, подаваемого во впускной тракт, увеличится более чем в 10 раз, и к моменту подачи искры в цилиндре будет образована однородная топливовоздушная смесь, хорошо подготовленная к сгоранию, а скорость распространения фронта пламени будет зависеть лишь от степени обогащения смеси вторичным топливом. Вторичная часть топлива, впрыскиваемая через форсунку, будет сгорать со значительно меньшим периодом задержки воспламенения, т. к. струи топлива попадают в уже образовавшиеся очаги пламени первичного топлива при интенсивном вихревом движении всего заряда.

Показатели дизеля и двигателя с комбинированным смесеобразованием представлены в таблице.

Показатели дизеля и двигателя с комбинированным смесеобразованием

Показатель	Дизель	Двигатель с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением	Δ , %
Эффективная мощность, N_e , кВт	8,95	10,69	19,4
Среднее индикаторное давление, p_i , МПа	0,602	0,725	20,4
Среднее эффективное давление, p_e , МПа	0,459	0,548	19,4
Максимальное давление сгорания, p_c , МПа	5,930	3,940	33,6
Давление сжатия, p_c , МПа	3,213	1,938	39,7
Эффективный удельный расход топлива, g_e , кг/(кВт · ч)	0,273	0,282	3,3
Механический КПД, $\eta_{мех}$	0,762	0,833	9,3
Эффективный КПД, η_e	0,315	0,305	3,2
Индикаторный КПД, η_i	0,413	0,403	2,4

* Значение изменения Δ определялось относительно данных для дизеля.

Сравнение показывает, что двигатель с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением развивает большую мощность, имеет сниженные значения максимального давления сгорания, более высокий механический КПД и более высокий расход топлива. Повышенный расход топлива вызван неоптимальной формой камеры сгорания, которая используется в связи с тем, что для организации нового рабочего процесса конвертировался серийный двигатель.

Сниженное значение максимального давления сгорания позволило сделать вывод о возможности дальнейшего форсирования предложенного рабочего процесса по этому показателю, т. е. поднять степень сжатия до значений серийного двигателя. Кроме того, в ходе экспериментальных исследований особенностей двигателя с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением был проведен эксперимент по отключению принудительного воспламенения на прогревом двигателе, показавший отсутствие изменений в индикаторной диаграмме. Это дало возможность сделать предположение, что при повышении степени сжатия возможна работа двигателя с воспламенением от сжатия. Исследования в данном направлении были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (грант РФФИ 08-08-00105 а).

Таким образом, возникла идея двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия. Здесь для упрощения конструкции и увеличения надежности был осуществлен отказ от карбюратора, вместо которого применена смесительная камера, установленная во впускном трубопроводе и не имеющая дроссельной заслонки, что позволило снизить сопротивление на впуске. Осуществление внешнего смесеобразования обеспечивается дополнительной форсункой, установленной в смесительной камере. Принятие такого же значения степени сжатия, как у серийного двигателя позволило избежать вмешательства в конструкцию двигателя. Применение воспламенения от сжатия избавило двигатель от системы принудительного воспламенения. Таким образом, изменения в конструкции базового двигателя при применении комбинированного смесеобразования с воспламенением от сжатия заключаются лишь в установке смесительной камеры, дополнительной форсунки и дополнительной секции топливного насоса высокого давления для ее привода.

Первоначально экспериментальные исследования особенностей рабочего процесса двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия проводились на базе вихрекамерного дизеля, так же как и двигателя с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением. Однако в связи с организацией в новом рабочем процессе качественного смесеобразования нет необходимости в организованном вихревом движении заряда. Кроме того, наличие разделенной камеры сгорания вызывает появление повышенной площади теплоотдачи и узких соединительных каналов между камерами, которые увеличивают тепловые и аэродинамические потери, снижают экономичность и ухудшают пусковые свойства двигателя. Поэтому было принято решение осуществить комбинированное смесеобразование и воспламенение от сжатия на двигателе с камерой сгорания типа ЦНИДИ, расположенной в поршне. Это не вызвало больших затруднений в переоборудовании экспериментальной установки. Дизель с камерой сгорания в поршне выпускается заводом «Дагдизель» (г. Каспийск). Отличие этой модели от вихрекамерного дизеля, также выпускаемого заводом «Дагдизель», заключается в поршнях, головках цилиндров и топливоподающей аппаратуре (форсунках). Поршень вихрекамерного дизеля имеет плоское днище, в то время как камера сгорания типа ЦНИДИ расположена в днище поршня. Соответственно в головке цилиндров вихрекамерного дизеля располо-

жена вихревая камера, а днище головки дизеля с камерой сгорания в поршне плоское. В вихрекамерном дизеле применена форсунка со штифтовым распылителем против многодырчатого распылителя в дизеле с камерой сгорания в поршне. Все остальные детали этих дизелей идентичны, поэтому при переоборудовании экспериментальной установки необходимо было лишь заменить поршни и головку цилиндров. Для обеспечения максимального сходства экспериментальных исследований был оставлен тот же комплект поршневых колец, что позволило исключить приработку их к поверхности цилиндрических втулок. При этом сравнение всех четырех видов организации рабочего процесса (вихрекамерный дизель, дизель с камерой сгорания в поршне, двигатель с комбинированным смесеобразованием с вихревой камерой сгорания, двигатель с комбинированным смесеобразованием с камерой сгорания в поршне) производится на одном двигателе, т. е. рабочие цилиндры и системы двигателя остаются неизменными в каждом цикле исследований. Это позволяет получить высокую точность сравнения.

Полученные результаты показали, что двигатель с комбинированным смесеобразованием развил на 10 % большую мощность по сравнению с базовой моделью, что обусловлено лучшей организацией смесеобразования.

Несмотря на положительные изменения в показателях рабочего цикла, в ходе экспериментальных исследований отмечался рост температуры выпускных газов. Это вызвано снижением коэффициента избытка воздуха, что привело к росту температурной напряженности цикла. Определенные опасения такой рост температур вызывает в связи с тем, что в конструкции головки цилиндров не применены жаростойкие вставки в седла выпускных клапанов, что может привести к их прогару. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при соответствующем изменении конструкции можно уменьшить негативное воздействие данного фактора. Пробное применение наддува при проведении испытаний двигателя с комбинированным смесеобразованием позволило снизить температуру выхлопных газов, однако свело к минимуму преимущества предложенного способа организации рабочего процесса, которое заключается в снижении коэффициента избытка воздуха и, тем самым, повышении удельной мощности двигателя.

Для выявления достоинств и недостатков предложенных рабочих процессов необходимо было произвести анализ полученных экспериментальных данных. Данный анализ заключался бы в расчетном определении показателей рабочего цикла и дальнейшем сравнении полученных показателей с экспериментальными данными. Однако в связи с тем, что эти рабочие процессы были предложены впервые, каких-либо методик расчета показателей этих процессов не существует. Таким образом, необходимо было разработать методику расчета показателей рабочего цикла двигателей с комбинированным смесеобразованием. При анализе особенностей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением в [6] предложена вполне работоспособная методика расчета показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением. При ее разработке были выявлены некоторые несоответствия между расчетными и экспериментальными данными. Часть из них была устранена. Однако некоторые остались неустраненными. Анализ показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия проводился на основе методики, предложенной в [6], однако здесь также появились некоторые сложности. В настоящий момент завершается разработка работоспособной методики расчета показателей рабочего цикла с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия. Таким образом, возникла необходимость разработки обобщенной методики расчета показателей рабочего цикла двигателя с комбинированным смесеобразованием вне зависимости от способа воспламенения.

Первым этапом в разработке данной методики является методика, предложенная в [6], которая базируется на классической методике Гриневецкого – Мазинга. Несмотря на то, что в данной методике не устранены все обнаруженные недостатки, разработку следует вести на ее базе.

Особенностью данной методики будет учет следующих моментов впускная система двигателя оснащена устройством для осуществления внешнего смесеобразования, которое создает некоторое сопротивление на впуске; цилиндр наполняется не воздухом, а топливовоздушной смесью, что приводит к изменению теплоемкости сжимаемого заряда. Это также может повлечь изменения и в расчете процесса сжатия.

Расчет процесса сгорания в [6] производился с использованием разных уравнений сгорания для разных участков индикаторной диаграммы. Возможно, это целесообразно применить и в разрабатываемой методике.

Расчет процесса расширения, скорее всего, не будет иметь отличий от классической методики Гриневецкого – Мазинга.

Таким образом, комплекс экспериментальных исследований подтвердил целесообразность и работоспособность принципа комбинированного смесеобразования, однако для его внедрения необходимы дальнейшие исследования. Направление этих исследований сложно охватить в ограниченном объеме данной статьи. В частности, дальнейшие исследования должны коснуться оптимизация формы камеры сгорания, угла подачи топлива, степени сжатия, топливной аппаратуры и многого другого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дорохов А. Ф., Сатжанов Б. С.* Расчетно-экспериментальное исследование распределения теплоты в цилиндре дизеля // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 100–104.
2. *Еремкин Владимир.* Двигатели с изменяемой степенью сжатия из НАМИ // http://www.autoreview.u/new_site/year2002/n02/stepen/1.htm.
3. *Двигатель SAAB* с изменяемой степенью сжатия // <http://motor.ucoz.net/publ/12-1-0-181>.
4. *Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А.* Топливная аппаратура и системы управления дизелей. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
5. *Работа форсунки системы common rail* // <http://www.dizelist.ru/index.php/toplivnaya-apparatura/27-common-rail/53-rabota-forsunki-sistemy-common-rail>.
6. *Каргин С. А.* Теоретическое обоснование и экспериментальное исследование рабочего процесса судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением: дис. ... канд. техн. наук. – Астрахань, 2006. – 162 с.
7. *Седунов И. П.* Роторно-волновой двигатель // <http://www.volnovoidvigatel.ru/rvd.html>.
8. *Шаровой двигатель Hüttlin (Хюттлин)* // <http://www.youtube.com/watch?v=gbTy3yvpZAE>.
9. *Бескревошипный бесшатунный двигатель* // <http://www.youtube.com/watch?v=YzBgoDeY3Ws>.
10. *Mercedes-Benz DiesOtto.* Двигатель будущего // <http://www.5koleso.ru/news/773>.
11. *Баландин С. С.* Бесшатунные поршневые двигатели внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
12. *Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей* / под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1990. – 289 с.
13. *Недымящий двигатель Кушуля* // <http://www.volnovoidvigatel.ru/kushul-vankel/index-101.htm>.
14. *Кушуль и Ванкель – два в одном* // <http://www.volnovoidvigatel.ru/kushul-vankel/index-104.htm>.
15. *Седунов И. П.* Двигатели внутреннего сгорания с «гильзовым» и «шторковым» газораспределением // <http://www.volnovoidvigatel.ru/cartridge-p1.html>.
16. *Способ работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления:* пат. РФ на изобретение № 2215882 / Дорохов А. Ф., Алимов С. А., Каргин С. А. и др. – 2003.
17. *Способ работы двигателя внутреннего сгорания; устройство для осуществления комбинированного смесеобразования:* пат. РФ на изобретение № 2388916 / Дорохов А. Ф., Исаев А. П., Колосов К. К., Малютин Е. А. – 2010.
18. *Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов.* – М.: Транспорт, 1979. – 424 с.

Статья поступила в редакцию 11.07.2011

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Каргин Сергей Александрович – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; тел.: 8 (8512) 614-166.

Kargin Sergey Aleksandrovich – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Science; Assistant Professor of the Department "Shipbuilding and Energetic Complexes of Sea Technological Equipment"; tel. 8 (8512) 614-166.