

И.В. Парсаданов, А.Г. Лал

КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ В ОППОЗИТНОМ ДВУХТАКТНОМ ДИЗЕЛЕ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ ФОРСИРОВАНИЯ

В работе на основе анализа и синтеза ранее выполненных теоретических и практических исследований предлагается концепция организации процесса сгорания в оппозитном двухтактном дизеле с навстречу движущимися поршнями при высоком уровне форсирования. Такие дизели выпускаются в Украине и находят широкое применение в наземном, морском и железнодорожном транспорте, в качестве дизель-генераторных установок. Реализации данной концепции для данных дизелей позволит одновременно обеспечить улучшение топливной экономичности и снизить тепловую напряженность цилиндропоршневой группы.

Кратко рассмотрены особенности организации рабочего процесса в оппозитном двухтактном дизеле с навстречу движущимися поршнями. Отмечен вклад украинских, российских и американских ученых в развитие и повышение эффективности их смесеобразования.

В соответствии с целью исследований, которой определяется выбор направлений разработок и реализации технических решений по одновременному снижению расхода топлива и тепловой напряженности цилиндропоршневой группы при форсировании оппозитного двухтактного дизеля, в качестве критерия оценки качества сгорания предложено использовать количество выделенной теплоты.

На основании результатов выполненных ранее исследований разработаны концептуальные основы повышения эффективности процесса сгорания высокофорсированного оппозитного двухтактного дизеля с противоположно движущимися поршнями, которые непосредственно связаны с показателями воздухоподачи, топливоподачи, обоснованием выбора формы камеры сгорания и определяются количеством выделенной при сгорании теплоты и характером его изменения по углу поворота коленчатого вала.

Ключевые слова: *оппозитный двухтактный дизель со встречно-противоположным движением поршней; ОДДПП; энергетические, экономические и экологические показатели; смесеобразование и сгорание.*

Введение. Оппозитные двухтактные дизели с противоположно движущимися поршнями в настоящее время находят широкое применение в наземном, морском и железнодорожном транспорте, в качестве дизель-генераторных установок. Одним из основных преимуществ таких дизелей является возможность получения высокой мощности при относительно небольших габаритах. Дальнейшее развитие оппозитных двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями (далее ОДДПП) связано с повышением литровой мощности, снижением расхода топлива и, соответственно, выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Литровая мощность современных дизелей, как двухтактных, так и четырехтактных, превышает 50 кВт/л. В настоящее время выдвигаются требования по обеспечению значения литровой мощности 60 кВт/л и более. Однако повышение литровой мощности вызывает рост температуры элементов цилиндропоршневой группы, что в двухтактных дизелях усугубляется неблагоприятными условиями отвода теплоты, связанными с реализацией процесса сгорания в цилиндре при каждом обороте коленчатого вала.

Следовательно, для ОДДПП с высоким уровнем литровой мощности актуальной задачей является снижение тепловой напряженности элементов цилиндропоршневой группы, в первую очередь поршня. Решение данной задачи наряду с реализа-

цией конструктивных и технологических решений обеспечивается внесением изменений в организацию процесса сгорания, в первую очередь за счет уточнения условий подачи и распределения топлива и воздуха в камере сгорания, в том числе и при уточнении ее конструкции.

В статье рассмотрены особенности организации процесса сгорания, проведен анализ влияния смесеобразования на сгорание и тепловыделение, обоснован критерий оценки качества сгорания и на основании результатов проведенных исследований предложена концепция организации процесса при высоком уровне форсирования ОДДПП.

Необходимо отметить, что существуют методы воздействия на топливную экономичность и токсичность выбросов отработавших газов дизелей, которые непосредственно не связаны с организацией процесса сгорания. К таким методам можно отнести совершенствование конструкции и технологии изготовления двигателей с целью снижения механических потерь, утилизации теплоты сгорания, применение систем и средств снижения токсичности отработавших газов. Перечисленные методы в данной работе не рассматривались.

Цель работы. На основе анализа и синтеза ранее выполненных теоретических и практических исследований, предложить для высокофорсированных оппозитных двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями концепцию организации процесса сгорания, позволяющую при

одновременном снижении расхода топлива снизить тепловую напряженность цилиндропоршневой группы.

Особенности организации рабочего процесса в оппозитных двухтактных дизелях.

Рабочий цикл двухтактного двигателя осуществляется за один оборот коленчатого вала, что обеспечивает при равных рабочих объемах в сравнении с четырехтактными дизелями, частотах вращения коленчатого вала и габаритах двигателя получение большей мощности. На увеличение мощности оказывает влияние и снижение потерь на газообмен из-за отсутствия тактов впуска и выпуска.

В тоже время отсутствие тактов впуска и выпуска отрицательно сказывается на качестве газообмена и существенно ухудшает условия охлаждения деталей цилиндропоршневой группы.

Впускная система обеспечивает поступление в цилиндр воздуха (G_v), заданное направление и интенсивность вращения воздушного заряда, которое оценивается вихревым отношением (Ω), (отношением угловой скорости вращения воздуха в угловой скорости коленчатого вала). Увеличение вихревого отношения изменяет траекторию движения топливного факела и способствует улучшению перемешивания топлива с воздухом. В двухтактных оппозитных дизелях, вихревое отношение находится в пределах $\Omega = 8...10$ [1, 2].

Подача топлива, аналогично четырехтактному дизелю, обеспечивается с помощью форсунок и топливных насосов высокого и низкого давления. Необходимо подчеркнуть, что в ОДДПП невозможно обеспечить наиболее благоприятные условия впрыскивания топлива в камеру сгорания при расположении форсунки вдоль вертикальной оси цилиндра или с незначительным смещением, и приходится реализовывать подачу топлива с периферии камеры сгорания через две (или четыре) форсунки, установленные в гильзе цилиндра. Следует также учитывать угловое смещение коленчатых валов, которое применяют в ОДДПП для повышения качества газообмена. В этом случае минимальный объем цилиндра не соответствует ВМТ каждого из поршней.

Разработка концепции организации сгорания в ОДДПП при высоком уровне форсирования непосредственно связана с систематизацией и оптимизацией выполненных ранее теоретических и экспериментальных исследований и с разработкой новых технических решений с учетом обеспечения требуемых ресурса и надежности при увеличении тепловой и механической напряженности деталей цилиндропоршневой группы.

К таким исследованиям необходимо отнести работы, по совершенствованию смесеобразования и сгорания в дизелях 5ТД и 6ТД, выполненные в ДП “ХКБД” под руководством Генерального конструктора Н.К. Рязанцева [1,2], и в дизеле 10Д100, выполненные на кафедре двигателей внутреннего сгорания НТУ “ХПИ” под руководством проф. Н.Ф. Разлейцева [3, 4]. В работе [5] проф. Н.Ф. Разлейцев на основе теоретических положений и проведенных экспериментов предложил метод расчета и анализа распределения топлива в камере сгорания дизеля. Эти данные по моделированию смесеобразования и сгорания в дизелях были использованы при разработке проф. Кулешовым А.С (МВТУ им. Н.Э Баумана) программы “ДИЗЕЛЬ РК” для расчета процесса сгорания и визуализации взаимодействия топлива с воздушным зарядом в двухтактных дизелях [6,7].

ОДДПП ранее широко использовались в авиационном, наземном, железнодорожном и морском транспорте. Однако в авиации поршневые двигатели были вытеснены газотурбинными, а применение ОДДПП в гражданской технике было ограничено в связи со сложностью конструкции и введением ограничений на выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

В настоящее время активно работает по созданию и повышению эффективности ОДДПП американская компания “Achates Power”. В 2015 году Achates Power получили военный контракт на 14 млн. долларов США от Центра исследований, разработок и инженерии танковой автомобильной техники на разработку «боевой машины будущего» [8], а также 9 млн. от министерства энергетики США за разработку оппозитного поршневого бензинового двигателя с воспламенением от сжатия [9]. А в 2015 компания получает грант в размере 2 млн. долларов на создание гибридного двигателя с оппозитно движущимися поршнями [10]. Achates Power сосредоточена на нескольких проектах, среди которых 2,7 литровый двигатель для пикапов, 10,6-литровый дизель для грузовика, а также двигатели для военной техники в вариантах 750, 1000 и 1500 л.с. [15].

Кроме того, в “Achates Power” утверждают, что современный оппозитный дизель имеет преимущество при установке системы рециркуляции отработавших газов (EGR) – сохранение части выхлопных газов в цилиндре. Таким образом, требуется меньшая внешняя рециркуляция выхлопных газов для управления образованием NO_x [15].

Выбор критерия оценки качества сгорания.

Обобщенным критерием качества сгорания в дизеле является индикаторный КПД (η_i). В свою

очередь η_i конкретного двигателя определяется режимными факторами и качеством смесеобразования.

К режимным факторам относятся среднее эффективное давление (P_e) и частота вращения коленчатого вала двигателя ($n_{дв}$). Качество смесеобразования, определяется характеристиками воздушного заряда и топлива, составом топливовоздушной смеси условиями воспламенения и сгорания, особенностями конструкции камеры сгорания и ее температурным состоянием.

Факторы, определяющие качество смесеобразования, приведены и систематизированы в монографии [11]. Подробный анализ и обобщение частных критериев смесеобразования с учетом их влияния на качество сгорания проведены в статье [12]. При этом оценку качества смесеобразования (а в итоге качества сгорания) автор данной статьи предлагает оценивать “генеральным критерием” – η_i (или удельным индикаторным расходом топлива, g_i).

Если анализировать качество сгорания по результатам обработки индикаторных диаграмм, то показателем (критерием) смесеобразования рационально принимать количество выделенной теплоты (X), которое, зависит от скорости тепловыделения (d_x/d_f), своевременности тепловыделения, потерь теплоты на тактах сжатия и расширения.

Скорость тепловыделения зависит от момента начала сгорания, и согласования параметров топливоподачи с параметрами воздушного заряда и формой камеры сгорания. Своевременность тепловыделения непосредственно связана с уменьшением потерь теплоты при увеличении объема на такте расширения. Потери теплоты при увеличении объема цилиндра при равных цикловых подачах топлива и воздуха непосредственно зависят от температуры стенок камеры сгорания.

Следует отметить, что в дизелях увеличение температуры стенок камеры сгорания до определенного уровня способствует более качественному испарению топлива в пристеночных зонах, улучшению смесеобразования, более полному и своевременному сгоранию топлива. В связи с этим для повышения топливной экономичности дизелей за счет снижения потерь теплоты при сгорании находят применение теплоизолированные камеры сгорания, с покрытиями или вставками, обладающими термической стойкостью. Считается, что применение таких камер способствуют росту термического КПД двигателя и увеличению энергии отработавших газов, которая эффективно может быть использована в газовой турбине. Однако, повышение температуры стенки камеры сгорания приводит к

снижению наполнения цилиндра свежим зарядом, к ухудшению выгорания топлива в зонах их контакта со стенкой [13] и увеличивает тепловой поток через поверхность камеры при приближении пламени [14].

Условия, определяющие качественное смесеобразование, реализуются при создании и доводке дизеля в результате принятия конструкторско-технологических решений, основанных на расчете, анализе, имеющемся опыте. В соответствии с целью исследований, которая предусматривает разработку для высокофорсированного ОДДПП концептуальных основ по выбору направлений, разработки и реализации технических решений при одновременном снижении расхода топлива, выбросов вредных веществ и тепловой напряженности цилиндропоршневой группы, оценку качества сгорания предлагается проводить на режиме максимальной мощности при постоянных значениях P_e , $n_{дв}$, α и t_s . В этом случае качество сгорания будет определяться изменением уровня η_i в зависимости от количества выделенной теплоты. Для исследователя важное значение имеет и то, что анализ влияния исследуемых факторов на количество выделенной теплоты можно проводить не только по величине этого показателя, но и характеру его изменения в зависимости от угла поворота коленчатого вала (закон сгорания). Например, при равных значениях выделенной теплоты высокие скорости в начале сгорания могут приводить к повышению механической и тепловой нагрузки на дизель, а увеличение скорости в конце сгорания будет ухудшать топливную экономичность дизеля.

Концептуальные основы повышения эффективности процесса сгорания при форсировании ОДДПП.

Разработка концептуальных основ повышения эффективности процесса сгорания при форсировании ОДДПП связана с обоснованием показателей воздухоподачи, топливоподачи и выбором формы камеры сгорания, которые в свою очередь непосредственно определяют количество выделенной при сгорании теплоты и характер изменения выделенной теплоты по углу поворота коленчатого вала.

Воздухоподача. Подача необходимого количества воздуха при заданном коэффициенте избытка воздуха (значение α в данных двигателях на режиме номинальной мощности составляет 2,0...2,1) и форсировании двигателя обеспечивается повышением эффективности центробежного компрессора, осевой газовой турбины и охладителя наддувочного воздуха. Формирование скорости и направления движения воздушного заряда в цилиндре ОДДПП реализуется без значительных гидравлических и

механических потерь с помощью специально профилированных впускных окон, расположенных в гильзе цилиндра и встречным движением поршней.

Топливоподача. Увеличение давления впрыскивания топлива позволяет обеспечить его качественное распыливание и сократить продолжительность впрыскивания. Для современных ОДДПП максимальное давление впрыскивания превышает 80 МПа. Применение топливной аппаратуры типа Common Rail позволяет увеличить максимальное давление впрыскивания практически в два раза, что, соответственно, обеспечивает снижение продолжительности впрыскивания и качество распыливания топлива. Обоснование необходимого уровня максимального давления и продолжительности впрыскивания необходимо проводить по результатам экспериментальных исследований.

Для равномерного распределения топливных факелов по объему камеры сгорания следует учитывать расположение топливных форсунок. Как уже отмечалось, подача топлива в камеру сгорания ОДДПП обеспечивается 2 или 4 форсунками, расположенными на периферии камеры сгорания. С увеличением давления наддува, что характерно при форсировании двигателей по литровой мощности, дальность (глубина проникновения топливного факела в камеру сгорания) уменьшается, что в некоторой степени компенсируется увеличением цикловой подачи топлива.

Выбор формы камеры сгорания. В ОДДПП применяются камеры сгорания для объемного смесеобразования. Такой способ смесеобразования позволяет получать лучшую топливную экономичность и обеспечивает достаточную надежность поршней. Камера образуется между днищами поршней в момент их максимального сближения. Особенности выбора формы камеры сгорания для ОДДПП определяются следующими соображениями:

- впрыскивание топлива осуществляется с периферии камеры сгорания;
- впрыскиваемое в камеру сгорания топливо оказывается под сильным воздействием тангенциального и осевого вихрей, создаваемых профилированными впускными окнами и встречным движением поршней;
- воздушный вихрь способствует интенсивному перемешиванию воздуха с парами топлива, вызывает деформацию и снос топливного факела.

Изменение формы и объема камеры сгорания в момент впрыскивания и сгорания топлива необходимо учитывать с учетом смещения коленчатых валов.

Для качественного сгорания топлива и обеспечения равномерности коэффициента избытка воздуха топливо должно быть по возможности распределено равномерно по всему объему камеры.

Наиболее рационально подавать топливо в камеру сгорания через четыре форсунки, каждая из которых имеет одно распыливающее отверстие. В этом случае обеспечивается наиболее равномерное распределение топливных факелов по объему камеры сгорания. Направление впрыскивания топлива в этом случае, зависит от количества топлива, подаваемого через каждое из распыливающих отверстий, а также от интенсивности вращения тангенциального воздушного вихря.

В ОДДПП типа ТД при вихревом отношении $\Omega = 8... 10$ с целью обеспечения равномерного распределения топлива по объему открытой цилиндрической камеры сгорания впрыскивание топлива через отверстия в форсунке реализуется практически против движения вращающегося воздушного заряда [1]. У форсунки формируется факел топлива, в котором происходит быстрый прогрев смеси, окисление и воспламенение топлива с незначительным периодом задержки воспламенения топлива, не превышающим 4 град. п.к.в. Под воздействием тангенциального воздушного вихря факел деформируется и меняет направление практически на противоположное, постепенно смещаясь, по мере уменьшения массы топлива при выгорании, к центру камеры сгорания.

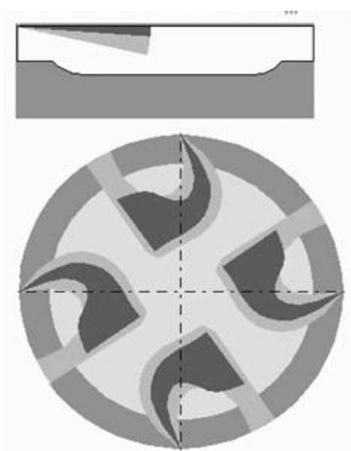


Рис. 1. Схема распределения топливных факелов в ОДДПП типа ТД

В дизеле Д-100 применяется открытая овальная камера сгорания с двумя форсунками, имеющими по одному распыливающему отверстию в распылителе. Как и в ОДДПП типа ТД равномерное распределение топлива в объеме камеры сгорания обеспечивается тангенциальным воздушным вихрем, но деформация факела в данном случае

значительно меньше из-за значительной разницы в массе топлива, подаваемого через каждое из отверстий распылителя.

Возможны и другие варианты камер сгорания для ОДДПП. С целью повышения эффективности сгорания компания “Achates Power” (США) разработала, запатентовала и применяет эллипсоидальную камеру сгорания, которая образуется между двумя поршнями в момент их сближения. Две форсунки топливной системы Common Rail расположены на концах длинной оси эллипса [15].

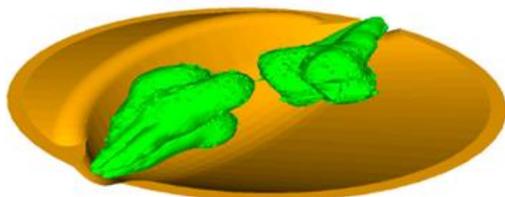


Рис. 2. Эллипсоидальная камера сгорания Achates Power

Такая схема смесеобразования не требует высокой скорости тангенциального воздушного вихря, так как взаимодействие топливных струй с воздухом происходит в основном за счет осевого вихря, образующегося при взаимном перемещении поршней. Основной проблемой организации смесеобразования при форсировании двигателя с эллипсоидальной камерой сгорания является максимальное использование воздушного заряда при практически встречном движении топливных факелов.

Следовательно, основные положения концепции организации процесса сгорания, позволяющей обеспечить литровую мощность ОДДПП свыше 60 кВт/л при одновременном улучшении показателей расхода топлива и снижении тепловой напряженность цилиндропоршневой группы, связаны с изменениями и уточнениями параметров воздухоподдачи, топливоподдачи, выбором формы камеры сгорания.

Для увеличения расхода воздуха при сохранении $\alpha = 2,0 \dots 2,1$, с учетом возрастания цикловой поддачи топлива, необходимо реализовать технические решения, связанные с повышением эффективности центробежного компрессора, осевой газовой турбины и охладителя наддувочного воздуха. Уточнение значений скорости движения воздушного заряда в цилиндре ОДДПП проводится предварительно в результате расчетных исследований, а затем экспериментальных стендовых испытаний.

Для повышения качества распыливания и сокращения продолжительности впрыскивания увеличенного количества топлива в дизелях типа ТД необходимо рассмотреть возможность совершенствования применяемой топливной аппаратуры или

использования топливной аппаратуры типа Common Rail. Оценку влияния качества распыливания, сокращения продолжительности впрыскивания, корректировки значения угла опережения впрыскивания и направления впрыскиваемого топлива рационально предварительно выполнить в результате расчетных исследований, а затем принимать решения о внесении изменений в конструкцию топливных насосов и форсунок и проведении испытаний.

Наиболее рациональным и перспективным способом организации смесеобразования для равномерного распределения топлива по объему в ОДДПП, по нашему мнению, является применение открытой цилиндрической камеры сгорания с четырьмя форсунками, расположенными на периферии камеры сгорания (аналогично дизелю типа ТД). Уточнение формы днища и стенок камеры связано главным образом с ограничением попадания топлива на горячую поверхность поршня.

Выводы

Основным преимуществом оппозитных двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями, применяющихся в наземном, морском и железнодорожном транспорте, в качестве дизель-генераторных установок, является возможность получения высокой литровой мощности при относительно небольших габаритах. Дальнейшее развитие оппозитных двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями связано с совершенствованием процесса сгорания.

В качестве критерия качества организации процесса сгорания предложено применить количество выделенной теплоты (X) и скорость тепловыделения (d_x/d_t), значение которых находят в результате обработки индикаторных диаграмм, снятых на режиме максимальной мощности.

Наиболее рациональным способом организации смесеобразования, обеспечивающем равномерное распределение топлива в оппозитных двухтактных дизелях с противоположно движущимися поршнями, является применение открытой цилиндрической камеры сгорания с четырьмя форсунками, расположенными на периферии камеры.

Разработка концептуальных основ повышения эффективности процесса сгорания при форсировании оппозитных двухтактных дизелей с противоположно движущимися поршнями связана с обоснованием показателей воздухоподдачи, топливоподдачи и уточнением формы камеры сгорания, которые в совокупности определяют количество выделенной при сгорании теплоты и характером изменения выделенной теплоты по углу поворота коленчатого вала.

Список літератури:

1. Рязанцев, Н. К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин: учеб. Пособие в 2-х частях / Н. К. Рязанцев. – К.: ИСИО, 1993. – Ч. 1. – 252 с. 2. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / За редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. – с. 3. Разлейцев Н.Ф. Математическая модель распределения масс топлива в струе дизельной форсунки./ Разлейцев Н.Ф., Жадан А.С. — Харьков. Политехн. ин-т.: Рук. деп. в УКрНИИИТИ. 1903 УК 86, 1986. – 23 с. 4. Разлейцев Н.Ф. Модель распределения топлива в среде вращающегося заряда цилиндра дизеля./ Разлейцев Н.Ф., Жадан А.С. — Харьков. Политехн. ин-т.: Рук. деп. в УКрНИИИТИ. 1902 УК 86, 1986. – 20 с. 5. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980. – 169 с. 6. Кулешов А.С. Развитие методов расчета и оптимизация рабочих процессов ДВС: дис. на здобуття наук. ступеня доктора технічних наук: 05.04.02/ Кулешов Андрей Сергеевич. - М., 2011. – 235с 7. Развитие многозонных моделей для расчета сгорания в современных ДВС / Кулешов А. С., Фадеев Ю. М., Кулешов А. А. // Двигателестроение. - 2017. - № 2. - С. 7-10. 8. Achates Power Wins \$14 Million Military Engine Project Single Cylinder Advanced Combat Engine Technology Demonstrator Project [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power_AdvancedCombatEngine_FINAL_33115.pdf. 9. Achates Power Awarded \$9 Million by the U.S. Department of Energy to Develop a New Disruptive Internal Combustion Engine in Partnership with Argonne National Laboratory and Delphi Automotive [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power_ARPAE_OPGCI-Release_FINAL.pdf. 10. ARPA-E Awards Grant for Hybrid Opposed-Piston Engine [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power-Hybrid-OP-Engine-ARPAE.pdf>. 11. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: Монография / И.В. Парсаданов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 12. Гаврилов В.В. Принципы организации и показатели качества смесеобразования и сгорания в судовом дизеле / В. В. Гаврилов // Двигателестроение № 3 (265). – 2016. - № 6. – С. 16-22. 13 Разлейцев Н.Ф. Изменение показателей процесса сгорания в дизеле с повышенной температурой стенок камеры сгорания / Н. Ф. Разлейцев, М. Л. Копылов, И.Н. Карягин // Двигатели внутреннего сгорания. – 1986 – № 44. – С. 70-77. 14. Wochni Gerhard, Spidler Walter, Kolesa Konrad Heat insulation chamber walls—a measure to decrease the fuel consumption of I.C. engines? // «Sae Techn. Ser.», 1987, No. 870339, 11 pp. 15. Opposed-Piston, Two-Stroke Diesel Engine Advantages in Meeting Higher Fuel Efficiency and Emissions Standards: материалы коллоквиума 3rd Aachen Colloquium China Automobile and Engine Technology (Ахен, 2013) / Eurogress Aachen — A. : Eurogress Aachen, 2013. — С. 1 -22.

Bibliography (transliterated):

1. Rjazancev, N. K. Konstrukcija forsirovannyh dvigatelej nazemnyh transportnyh mashin. Vol. 1. Kiev: ISIO, 1993. 2. Marchenko A.P., Ryazantsev M.K., Shekhovtsov A.F. (2004), Internal combustion engines: A series of textbooks in 6 volumes [Dvyhunny vnutrishn'oho zghoryannya: Seriya pidruchnykiv u 6 tomakh.], vol. 1, Publishing Center NTU "KhPI", p. 3. Razleytsev N.F., Zhadan A.S. (1986), "Mathematical model of fuel mass distribution in a jet of a diesel injector" ["Matematicheskaya model' raspredeleniya mass topliva v struye dizel'noy forsunki"], UKrNIINTI, Kharkiv, pp. 23. 4. Razleytsev N.F., Zhadan A.S. (1986), "Model of fuel distribution in the environment of a rotating charge of a diesel cylinder" ["Model' raspredeleniya topliva v srede vrashchayushchegosya zaryada tsilindra dizelya "], UKrNIINTI, Kharkiv, pp. 20. 5. Razleytsev N.F., (1980), "Modeling and optimization of the combustion process in diesel engines" ["Modelirovaniye i optimizatsiya protsessy sgoraniya v dizelyakh "], Kharkov: Vischa shk. Publishing house at Khark. university, Kharkiv, pp. 20. "6. Kuleshov A.S. (2011), Development of calculation methods and optimization of workflows of the internal combustion engine [Razvitiye metodov rascheta i optimizatsiya rabochikh protsessov DVS], Moscow, 235 p. 7. Kuleshov A.S., Fadeev Yu.M., Kuleshov A.A. (2017), "Development of multizonal combustion models as applied to modern reciprocating engines" ["Razvitiye mnogozonnykh modeley dlya rascheta sgoraniya v sovremennykh DVS "], Dvigatelistroyeniye Vol. 2, St. Petersburg, pp. 7-10. 8. "Achates Power Wins \$14 Million Military Engine Project Single Cylinder Advanced Combat Engine Technology Demonstrator Project", available at: https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power_AdvancedCombatEngine_FINAL_33115.pdf. 9. "Achates Power Awarded \$9 Million by the U.S. Department of Energy to Develop a New Disruptive Internal Combustion Engine in Partnership with Argonne National Laboratory and Delphi Automotive", available at: https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power_ARPAE_OPGCI-Release_FINAL.pdf. 10. "ARPA-E Awards Grant for Hybrid Opposed-Piston Engine", available at: <https://achatespower.com/wp-content/uploads/2019/12/Achates-Power-Hybrid-OP-Engine-ARPAE.pdf>. 11. Parsadanov I.V. (2003), "Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on an integrated fuel and environmental criterion" ["Povysheniye kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya"], NTU "KhPI", Kharkiv, pp. 244. 12. Gavrilov V.V. (2016), "Organization principles and quality indicators of mixture formation and combustion in a marine diesel engine" ["Printsipy organizatsii i pokazately kachestva smeseobrazovaniya i sgoraniya v sudovom dizele "], Dvigatelistroyeniye Vol. 3 (265), St. Petersburg, pp. 16-22. 13. Razleytsev N.F. Kopylov M.L., Karyagin I.N. (1986), "Changes in the indicators of the combustion process in a diesel engine with an increased temperature of the walls of the combustion chamber" ["Izmeneniye pokazateley protsessy sgoraniya v dizele s povyshennoy temperaturoy stенок kamery sgoraniya "], Dvigateli vnutremnego sgoraniya, Kharkiv, pp. 70-77. 14. Wochni G., Spidler W., Kolesa K. (1987), Heat insulation chamber walls—a measure to decrease the fuel consumption of I.C. engines? // «Sae Techn. Ser.» No. 870339, 11 pp. 15. Johnson D., Koszewnik J., From L., Redon F., Regner G. (2019), "Opposed-Piston, Two-Stroke Diesel Engine Advantages in Meeting Higher Fuel Efficiency and Emissions Standards", Materials of 3rd Aachen Colloquium China Automobile and Engine Technology., Aachen, pp. 1-22.

Поступила в редакцію 24.06.2021 з.

Парсаданов Ігор Володимирович – доктор техн. наук, проф., головний науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua, <http://orcid.org/0000-0003-0587-4033>.

Лал Амір Гул – магістр, аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: amir.Lal@iee.khpi.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4729-3739>.

КОНЦЕПЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ В ОПОЗИТНОМУ ДВОТАКТНОМУ ДИЗЕЛІ ПРИ ВИСОКОМУ РІВНІ ФОРСУВАННЯ

I.V. Parsadanov, A.G. Lal

У роботі на основі аналізу і синтезу раніше виконаних теоретичних і практичних досліджень пропонується концепція організації процесу згоряння в опозитному двотактному дизелі з назустріч рухомими поршнями при високому рівні форсування. Такі дизелі випускаються в Україні і знаходять широке застосування в наземному, морському і залізничному транспорті як дизель-генераторні установки. Реалізація цієї концепції дозволить забезпечити для даних дизелів при поліпшенні паливної економічності водночас знизити теплову напруженість циліндропоршневої групи.

Коротко розглянуті особливості організації робочого процесу в опозитному двотактному дизелі з назустріч рухомими поршнями. Відзначено внесок українських, російських і американських вчених в розвиток і підвищення ефективності їх сумішоутворення. Розглянуті сучасні тенденції розвитку опозитних двотактних дизелів

Відповідно до мети досліджень, якою визначається вибір напрямків розробок і реалізації технічних рішень щодо одночасного зниження витрати палива і теплової напруженості циліндропоршневої групи при форсуванні опозитного двотактного дизеля, як критерій оцінки якості згоряння запропоновано використовувати кількість виділеної теплоти.

На підставі результатів виконаних раніше досліджень розроблені концептуальні засади підвищення ефективності процесу згоряння високофорсованого опозитного двотактного дизеля з протилежно рухомими поршнями, які безпосередньо пов'язані з показниками повітропостачання, подачі палива, обґрунтування вибору форми камери згоряння і визначаються кількістю виділеної при згорянні теплоти і характером її зміни за кутом повороту колінчастого вала.

Ключові слова: опозитний двотактний дизель із зустрічно-протилежним рухом поршнів; ОДДП; енергетичні, економічні і екологічні показники; сумішоутворення і згоряння.

THE CONCEPT OF COMBUSTION PROCESS ORGANISATION IN A BOXER TWO-STROKE DIESEL ENGINE AT A HIGH LEVEL OF BOOSTING

I.V. Parsadanov, A.G. Lal

Based on the analysis and synthesis of previously performed theoretical and practical studies, the paper proposes a concept of combustion process organization in a boxer two-stroke diesel engine at a high level of boosting. Such diesel engines are produced in Ukraine and are widely used in land, sea and rail transport, as diesel generator plants. The implementation of this concept will ensure the reduction of the thermal stress of the cylinder piston group for these diesel engines, while improving fuel efficiency.

The features of the organization of the working process in a boxer two-stroke diesel engine are briefly considered. The contribution of Ukrainian, Russian and American scientists to the development and improvement of their mixing efficiency is noted.

Following the purpose of the research, which determines the choice of directions for the development and implementation of technical solutions for the simultaneous reduction of fuel consumption and thermal tension of the cylinder-piston group when forcing a boxer two-stroke diesel engine, it is proposed to use the amount of released heat as a criterion for evaluating the quality of combustion.

Based on the results of earlier studies, conceptual foundations for increasing the efficiency of the combustion process of a highly boosted boxer two-stroke diesel engine have been developed, which are directly related to the air supply, fuel supply, the rationale for choosing the shape of the combustion chamber are determined by the amount of heat released during combustion and the nature of its change in the crankshaft rotation angle.

Key words: boxer two-stroke diesel engine with opposite piston movement; energy, economic and environmental indicators; mixture formation and combustion.