

УДК 621.436  
МРНТИ 55.42.29

DOI: <https://doi.org/10.37788/2022-1/139-146>

А.А. Кусайнов<sup>1</sup>, А.К. Каракаев<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Торайгыров университет, Казахстан  
(e-mail: akram.kusainov@mail.ru)

### Моделирование рабочего цикла дизельного двигателя с системой периодического отключения работы цилиндров

#### Аннотация

*Основная проблема:* Двигатели внутреннего сгорания работают в условиях широкого диапазона изменения мощности и частоты вращения. В наибольшей степени это относится к двигателям автотракторного назначения и тепловозным двигателям, работающим на дробных и холостых нагрузках значительную часть времени эксплуатации.

При проектировании двигателей выбор их основных конструктивных и компоновочных параметров проводится комплексно, с учетом обеспечения требуемой мощности и экономичности на режимах максимального крутящего момента и номинальной мощности. Однако обеспечение экономичной работы современных высокофорсированных дизельных двигателей на режимах малых нагрузок и холостых ходов вызывает целый комплекс проблем, связанных главным образом с организацией эффективного смесеобразования и выгорания топлива, а также с обеспечением устойчивой топливоподачи. Так, цикловая доза впрыскиваемого топлива на режиме холостого хода в 8–12 раз меньше цикловой дозы на номинальном режиме, что определяет повышенные требования к топливной аппаратуре и трудности обеспечения качественного смесеобразования. В то же время тепловозные двигатели на режимах холостого хода работают до 50 % общего времени эксплуатации, расходуя до 15–20 % топлива. Для двигателей грузовых автомобилей относительное время работы на холостом ходу составляет примерно 20–25 %. Таким образом, разработка мероприятий по повышению эффективности работы дизельных двигателей на режимах холостых ходов является актуальной.

*Цель:* Выполнить численный анализ влияния отключения циклов в дизельных двигателях автотракторного и тепловозного назначения на рабочие процессы в цилиндре и индикаторные параметры цикла на режимах холостых ходов.

*Методы:* При написании статьи применялись такие традиционные методы, как сравнение, описание, измерение, а также общелогические методы как анализ, обобщение и др.

*Результаты и их значимость:* Выполнен численный анализ рабочего цикла дизельного двигателя, оснащенного системой отключения циклов. Раскрыта взаимосвязь изменения характеристик впрыска топлива при отключении циклов с индикаторными показателями рабочего цикла двигателя на режимах холостых нагрузок. Установлено, что целесообразность отключения циклов на конкретном режиме работы двигателя определяется, прежде всего, особенностями процессов впрыска, смесеобразования и выгорания топлива.

*Ключевые слова:* отключение циклов, характеристики впрыска топлива, механические потери, характеристики тепловыделения.

#### Введение

Одним из способов повышения экономичности двигателя на режимах холостых ходов является отключение части цилиндров. При этом наилучший эффект достигается при одновременной фиксации клапанов в закрытом положении с помощью специальных устройств в механизме газораспределения. Подобный метод широко используется в современных автомобильных бензиновых двигателях, так как помимо прочего позволяет существенно уменьшить работу насосных ходов на режимах малых нагрузок.

Отключение цилиндров как метод управления поршневыми двигателями различного назначения успешно применяют на частичных по частоте вращения и нагрузке режимах их работы для улучшения топливной экономичности. В информационных источниках отмечено, что отключение цилиндров может быть эффективным как для бензиновых, так и для дизельных двигателей мощностью от десятков до тысяч киловатт. Такой метод управления используют для рядных четырехцилиндровых автомобильных двигателей и для многоцилиндровых тепловозных и судовых двигателей с V-образным расположением цилиндров. Целесообразность отключения цилиндров обоснована тем, что при малых нагрузках снижается подача топлива, а режимы малых подач топлива находятся вне зоны наилучшей топливной экономичности двигателя. При отключении части цилиндров работающие цилиндры (РЦ) для обеспечения необходимой мощности двигателя переходят в режим повышенной подачи топлива с лучшими показателями рабочего процесса, приближаясь к зоне наилучшей топливной экономичности.

Ведущими направлениями конструктивного и технологического совершенствования автотракторных средств являются снижение расхода топлива и токсичности отработавших газов. Одним из наиболее эффективных мероприятий по снижению расхода топлива и воздействия на экологию является использование комплексного метода полного и частичного отключения части цилиндров при эксплуатации ДВС на холостом ходу и малых нагрузках. Данный метод в ограниченном масштабе применяется на современных транспортных средствах. Однако сложность разработки и применения технических средств для его реализации состоит в отличительных особенностях режимов работы автотракторных средств, специфики условий эксплуатации. В приведенных исследованиях проведен анализ для двигателя КамАЗ-740 (8ЧН 12/12), устанавливаемого на грузовые автомобили.

Целью исследования является численный анализ влияния отключения циклов в дизельных двигателях автотракторного и тепловозного назначения на рабочие процессы в цилиндре и индикаторные параметры цикла на режимах холостых ходов

#### **Материалы и методы**

Для дизельных двигателей уменьшение насосных потерь при отключении цилиндров с фиксацией клапанов в закрытом положении не столь значительно, как в двигателях с принудительным воспламенением. По данным работы [1], при испытаниях двигателя КамАЗ-740 отключение половины цилиндров на режимах холостых ходов привело к снижению часового расхода топлива на 1–5 % в диапазоне частоты вращения коленчатого вала  $n = 800–1500 \text{ мин}^{-1}$ . Со снижением оборотов двигателя эффективность отключения цилиндров возрастает. При  $n > 1600 \text{ мин}^{-1}$  при отключении циклов часовой расход топлива возрастает. При экспериментальных исследованиях двигателя КамАЗ-740.10 установлено [1, 2], что в диапазоне  $n = 1000–1400 \text{ мин}^{-1}$  уменьшение часового расхода топлива при отключении половины цилиндров составляет 4–6 %. При испытаниях двигателя ЯМЗ-238 (8ЧН 13/14) на холостых режимах также установлено [3], что отключение половины цилиндров в диапазоне  $n = 600–1200 \text{ мин}^{-1}$  позволяет снизить часовой расход топлива на 1–5 %.

Однако отключение цилиндров связано со снижением равномерности работы двигателя, что приводит к неравномерному температурному состоянию деталей различных цилиндров двигателя и блока цилиндров; кроме того, в отключенных цилиндрах наблюдается заброс масла в надпоршневую полость с последующим его выгоранием с образованием нагара при включении цилиндров. Поэтому для двигателей данного типа может быть предложен метод отключения циклов, заключающийся в периодическом пропуске топливоподачи в цилиндр в соответствии с заданным алгоритмом [4, 5]. Так, например, эквивалентом отключения половины цилиндров является подача топлива в цилиндр один раз за два цикла (четыре оборота в случае четырехтактного двигателя). При этом все цилиндры будут работать в одинаковом тепловом режиме, а также будет обеспечена более совершенная очистка цилиндров от остаточных газов.

Применение подобных систем в многоцилиндровых двигателях (с числом цилиндров 8 и более) позволяет существенно уменьшить минимально устойчивую частоту вращения коленчатого вала, а следовательно, и часовой расход топлива (даже при неизменном индикаторном КПД двигателя). Так, для двигателя КамАЗ-740 удается снизить минимально устойчивую частоту вращения с 850 до 600  $\text{мин}^{-1}$ , что обеспечивает снижение часового расхода топлива с 1,9 до 1,2 кг/ч [6]. Аналогичные исследования, выполненные на двигателе ЯМЗ-238, показали, что при отключении половины цилиндров минимально устойчивая частота вращения может быть снижена с 620 до 490  $\text{мин}^{-1}$ .

В то же время в известных работах отсутствуют четкие рекомендации по выбору режимов работы двигателя с отключением циклов, а также не раскрыта в полной мере взаимосвязь индикаторных и эффективных показателей двигателя с изменением условий топливоподачи и газообмена при отключении рабочих циклов двигателя.

Для определения целесообразности отключения циклов на режимах холостых ходов необходимо проанализировать изменение следующих параметров рабочего цикла:

- 1) индикаторного КПД цикла  $\eta_i$ ;
- 2) величины механических потерь в двигателе, характеризуемых мощностью механических потерь  $N_m$ ;
- 3) качества процессов газообмена, характеризуемого коэффициентом остаточных газов  $\gamma_r$  и коэффициентом наполнения  $\eta_n$ .

Для определенности выполним анализ для двигателя КамАЗ-740 (8ЧН 12/12), устанавливаемого на грузовые автомобили. Данный двигатель оборудован системой топливоподачи на основе блочного ТНВД золотникового типа.

Как было сказано выше, при отключении циклов организуется отключение впрыска топлива в цилиндр в соответствии с условиями работы двигателя. На режимах малых оборотов, как показывают результаты исследований [1, 7-9], рациональным является отключение половины рабочих цилиндров, что эквивалентно пропуску впрыска топлива «через раз», т.е. один раз за 8 тактов.

#### **Результаты**

Для выполнения анализа воспользуемся программным комплексом Блиц-PRO, доработанным специалистами кафедры «Транспортная техника и логистика» Торайгыров Университета для обеспечения

расчета рабочего цикла при пропуске впрысков топлива. Рассмотрим режим холостого хода при  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ , основные результаты моделирования которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Выборочные результаты расчета рабочего цикла двигателя типа 8ЧН 12/12 при работе на холостом ходу при  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

Параметр	Обозначение	Единица измерения	4 такта	8 тактов
Индикаторная мощность	$N_i$	кВт	9,76	9,88
Мощность механических потерь на трение	$N_{м.тр}$	кВт	9,19	9,29
Мощность насосных ходов	$N_{н.х}$	кВт	-0,57	-0,59
Индикаторный КПД	$\eta_i$	–	0,349	0,372
Продолжительность сгорания	$\varphi_{сг}$	град	117,25	10,94
Период задержки воспламенения	$\varphi_{з.в}$	град	3,5	3,25
Среднее давление впрыска топлива	$p_{впр.ср}$	бар	79,7	128
Коэффициент остаточных газов	$\gamma_r$	%	0,5	0,2
Коэффициент наполнения	$\eta_n$	–	0,995	1,013
Подогрев заряда от стенок цилиндра	$\Delta T_a$	К	14,5	14,0
Коэффициент продувки	$\varphi_a$	–	1,01	1,011
Содержание оксидов азота в ОГ	$[NO_x]$	ppm	407	571
Содержание сажи в ОГ	$[C]$	ед. Bosch	0,484	0,245
Коэффициент избытка воздуха	$\alpha$	–	10,93	5,8
Теплота, теряемая с ОГ	$Q_r$	кВт	10,44	9,22
Теплота, отводимая в охлаждающую воду	$Q_{w\Sigma}$	кВт	12,77	13,11
Теплота, отводимая в масло	$Q_{m\Sigma}$	кВт	3,68	3,71
Температура в выпускном коллекторе	$T_t$	К	383,9	374,1
Максимальное давление в цилиндре	$p_z$	кПа	5119	5868
Максимальная температура в цилиндре	$T_z$	К	969,5	1130,3
Цикловая доза топлива	$q_c$	г	0,0098	0,0185
Часовой расход топлива	$G_t$	кг/ч	2,352	2,22

Изменение индикаторного КПД определяется в основном двумя факторами: законом выгорания топлива и условиями отвода теплоты в стенки цилиндра. Состав рабочего тела не оказывает значительного влияния. Так, при изменении коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  с 10,93 до 5,8 доля трехатомных газов в продуктах сгорания выросла с 1,45 до 2,8 %, что оказывает пренебрежимо малое влияние на индикаторный процесс. Условия теплоотвода в стенки цилиндра при отключении циклов также меняются незначительно: согласно расчетам количество теплоты, отводимое в стенки,  $Q_{w.t.o}$  возрастает с 12,77 до 13,1 кВт.

Таким образом, определяющее влияние на величину индикаторного КПД в рассматриваемом случае оказывают процессы выгорания топлива (подвода теплоты). На рисунке 1 представлены экспериментальные диаграммы давления топлива на входе в форсунку  $p_f = f(\varphi)$ , впрыска топлива, полученные в лаборатории кафедры ДВС НУК для двигателя с обычной работой цилиндров и двигателя, работающего с отключением циклов.

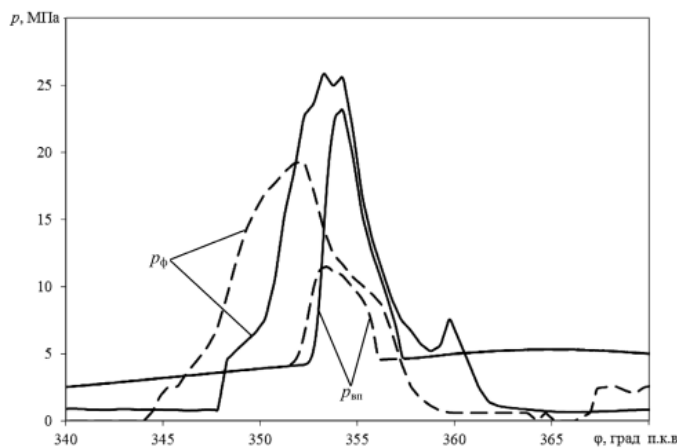


Рисунок 1 – Диаграммы давления топлива на входе в форсунку ( $p_f$ ) и подыгольном пространстве распылителя ( $p_{впр}$ ): — — — без отключения циклов; — с отключением циклов

На основании этих диаграмм по методике, изложенной в [3], рассчитаны диаграммы абсолютного давления топлива в подыгольном пространстве распылителя форсунки  $p_{впр} = f(\varphi)$ , а также характеристики впрыска топлива, используемые при расчетах цикла в качестве исходных данных. Как видно, среднее давление впрыскивания топлива  $p_{впр.ср}$  при отключении циклов увеличивается с 7,97 до 12,8 МПа (при этом среднее избыточное давление впрыска  $p'_{впр.ср}$ , определяемое как разница между давлением впрыска и давлением в цилиндре, увеличивается с 3,7 до 8,4 МПа). В результате качество распыливания топлива при отключении циклов существенно улучшается: расчетный средний поверхностный диаметр капель  $d_{32}$  уменьшается с 37 до 30 мкм. Увеличение мелкости распыла топлива приводит к сокращению периода задержки самовоспламенения топлива и периода выгорания топлива. На рисунке 2 приведены расчетные характеристики тепловыделения, полученные на основе методики Н.Ф. Разлейцева, встроенной в программный комплекс Блиц-PRO.

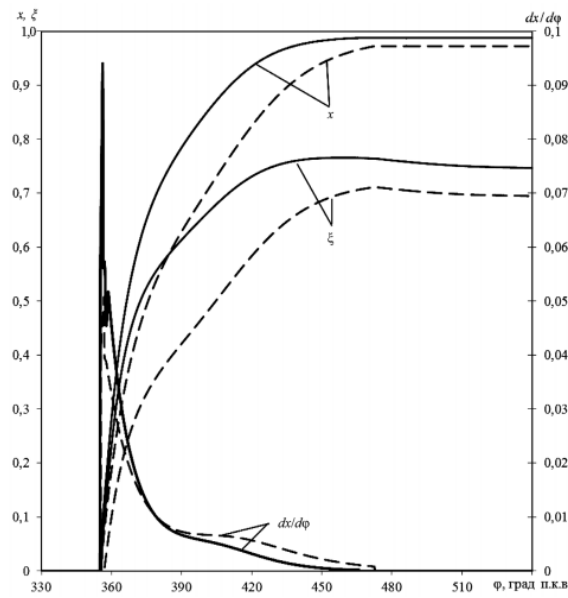


Рисунок 2 – Характеристики тепловыделения и использования теплоты:  
 - - - - без отключения циклов; — с отключением циклов

Анализ рисунка 2 позволяет установить причины повышения индикаторного КПД цикла при отключении циклов. Увеличение давления впрыска и уменьшение среднего диаметра капель распыленного топлива приводят к практически двукратному увеличению скорости выгорания топлива за первые 20 град п.к.в. процесса сгорания. Как следствие, тепло, выделяющееся при выгорании топлива, используется значительно эффективнее, что наглядно демонстрирует характер кривых зависимостей коэффициентов использования теплоты  $\xi = f(\varphi)$ : перенос выделения основной части теплоты ближе к ВМТ приводит к существенному сокращению потерь с отходящими газами (ОГ)  $Q_{г-}$  с 10,44 до 9,22 кВт. Отметим также некоторое увеличение жесткости процесса выгорания топлива при отключении циклов.

Рассмотрим теперь влияние отключения циклов на величину механических потерь в двигателе. Проанализируем две основные составляющие данных потерь: потери на трение и привод навесных агрегатов  $N_{м.тр}$  и потери на совершение насосных ходов  $N_{п.х}$ .

Как известно, для описания зависимости величины механических потерь на трение и привод навесных агрегатов наиболее рационально использовать уравнения вида [8]

$$P_{тр} = a_{тр} + b_{тр}P_z + c_{тр} \frac{n}{1000} \text{ кПа},$$

где  $a_{тр}$ ,  $b_{тр}$ ,  $c_{тр}$  – коэффициенты.

Для двигателя КамАЗ-740 при обработке экспериментальных данных получено  $a_{тр} = 36$  кПа,  $b_{тр} = 5$ ,  $c_{тр} = 40$  кПа/мин<sup>-1</sup>. При отключении циклов в качестве максимального давления сгорания в цилиндре принимается среднее арифметическое значение максимальных давлений для такта сгорания и такта сжатия без впрыска топлива  $p_{зср} = (5,863 + 4,758)/2 = 5,3105$  МПа (рисунок 3). Так как максимальное давление в цилиндре без отключения циклов  $p_z = 5,119$  МПа, то мощность потерь  $N_{м.тр}$  на трение и привод навесных агрегатов при отключении цилиндров незначительно увеличивается с 9,19 до 9,29 кВт.

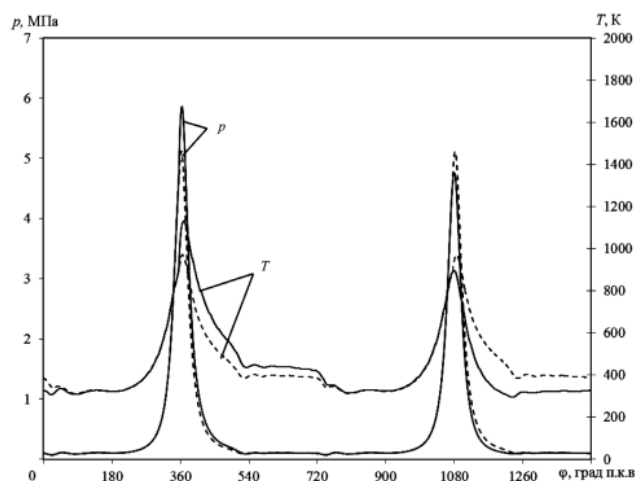


Рисунок3– Развернутые индикаторные диаграммы рабочего цикла:  
 ---- без отключения циклов; — с отключением циклов

Рассмотрим причины увеличения потерь на совершение насосных ходов  $N_{н.х}$  с 0,57 до 0,59 кВт при отключении циклов. На рисунке 4 указаны диаграммы мгновенных расходов газа через выпускные и впускные клапаны.

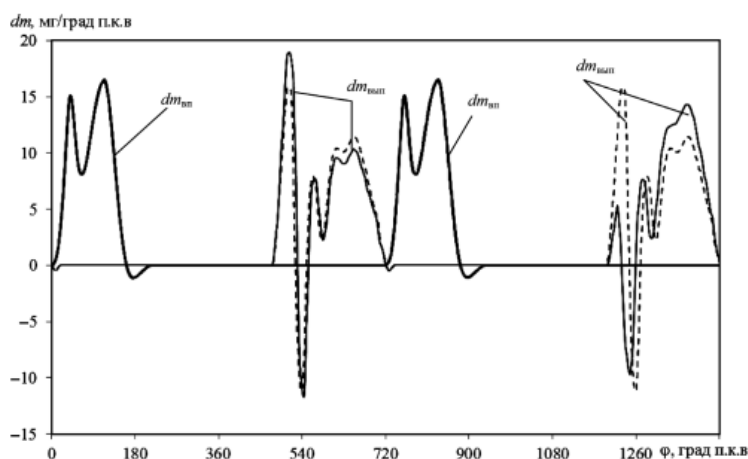


Рисунок 4 – Диаграммы мгновенных расходов рабочего тела через впускные ( $dm_{вп}$ ) и выпускные ( $dm_{вып}$ ) органы: ---- без отключения циклов; — с отключением циклов

На такте расширения без впрыска топлива отсутствует процесс свободного выпуска, что приводит к увеличению потерь на принудительный выпуск на следующем такте. Наглядное представление о величине насосных потерь дает рисунок 5.

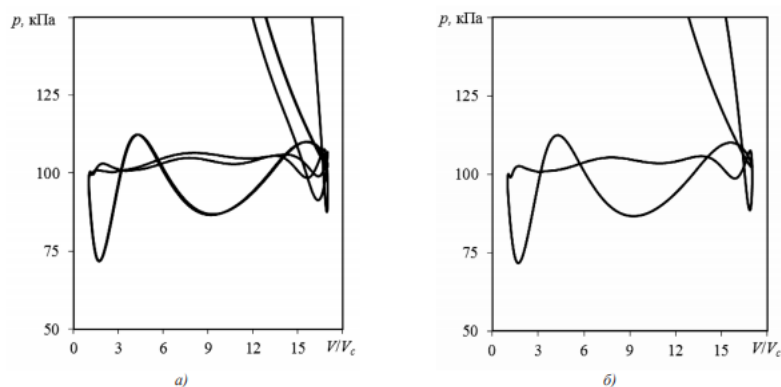


Рисунок 5 – Диаграммы насосных ходов:  
 а) – при отключении циклов; б) – без отключения циклов

Итак, суммарные механические потери  $N_m$  при отключении циклов возрастают с 9,76 до 9,88 кВт – на 1,2% из-за увеличения максимального давления сгорания и отсутствия процесса свободного выпуска на такте расширения без впрыска топлива.

Необходимо отметить, что при отключении циклов повышается качество очистки цилиндров от остаточных газов (вследствие наличия «дополнительных» тактов впуска и выпуска). Однако на холостых ходах величина остаточных газов невелика, поэтому снижение коэффициента остаточных газов  $\gamma$  с 0,5 до 0,2% не оказывает существенного влияния на протекание рабочего цикла двигателя. Условия наполнения цилиндра свежим зарядом, как следует из рисунка 4, при отключении циклов практически не меняются. Наблюдается некоторое увеличение коэффициента наполнения вследствие снижения  $\gamma$ . Необходимо также отметить, что, согласно расчетам, выбросы оксидов азота  $[NO_x]$  при отключении циклов вырастают с 407 до 571 ppm главным образом из-за роста максимальной температуры сгорания. В то же время наблюдается более чем двукратное снижение дымности отработавших газов  $[C]$ : с 0,484 до 0,245 ед. Bosch, что соответствует данным [2]. При отключении циклов снижаются также выбросы твердых частиц и несгоревших углеводородов

### **Обсуждение**

В практике эксплуатации автотракторной техники известны проблемы выполнения достаточно широкого перечня выполняемых работ и требуемых режимов эксплуатации. Работы, направленные на рациональный выбор грузоподъемности автомобилей, тягового класса тракторов не приводят к желаемой эффективной загрузке двигателя. В результате при работе на холостом ходу и малых нагрузках не обеспечивается заданная экономичность. Кроме того, показатели токсичности превышают допустимый порог на 10–30 %. Необходимы мероприятия по снижению токсичности и повышению топливной экономичности двигателей с низкими нормами Евро. Одним из наиболее эффективных мероприятий является использование комплексного метода полного и частичного отключения части цилиндров при эксплуатации ДВС на холостом ходу и малых нагрузках. Индивидуальная разработка мероприятий отключения топливоподачи и привода ГРМ, конкретно под каждую машину с учетом особенности режимов работы автотракторных средств и специфики их условий является актуальной задачей.

Теоретические и расчетные исследования, приведенные в данных материалах, решены для дизельного двигателя КамАЗ-740 (8ЧН 12/12), устанавливаемого на грузовые автомобили. Однако при уточнении в экспериментальных условиях могут быть распространены на любые дизельные и бензиновые двигатели, а также перспективные новые модели, эксплуатирующиеся при недозагрузках.

### **Заключение**

Целесообразность отключения циклов на конкретном режиме работы двигателя определяется соотношением между повышением индикаторного КПД цикла и увеличением механических потерь. В рассматриваемом случае отключение циклов позволяет сократить часовой расход топлива  $G_t$  с 2,352 до 2,22 кг/ч, т. е. примерно на 6 %.

Определяющими процессами являются процессы впрыска топлива и смесеобразования: снижение давления впрыска топлива на холостых режимах при низких оборотах, которое влечет за собой резкое ухудшение условий выгорания топлива и определяет целесообразность отключения циклов.

В дальнейших исследованиях необходимо выполнить анализ целесообразности отключения циклов в дизельных двигателях с системами аккумуляторного впрыска топлива, оснащенными электронным управлением.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Суркин, В.И., Петелин А.А., Федосеев С.Ю. Регулирование работы двигателя тракторно-транспортного агрегата отключением части его цилиндров // Известия Самар. гос. с.-х. академии. – 2012. – Вып. 3. – С. 41–45.
- 2 Химченко, А.В., Мишин Д.Г., Бузов А.В. Снижение неравномерности крутящего момента двигателя с отключением цилиндров на режимах частичного нагружения // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 1. – С. 46–51.
- 3 Каракаев А. К. Гидродинамика впрыскивания топлива в дизелях: монография. – Павлодар: Издательство «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. -121 с.
- 4 Каракаев А. К. Исторический обзор научных исследований по совершенствованию процессов впрыскивания топлива в дизелях и распыливания жидкостей: монография. – Павлодар: Издательство «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2008. -103 с.
- 5 Каракаев А.К. Топливная система с гидрозапиранием форсунок как основа для создания дизелей с управляемыми параметрами впрыскивания топлива: монография / А. К. Каракаев. – Павлодар: Кереку, 2016. – 201 с.
- 6 Каракаев А.К. Повышение технико-экономических показателей дизелей путём рециркуляции отработавших газов: монография. – Павлодар:Кереку, 2016. – 70 с.

- 7 Марков В.А., Девянин С.Н., Савастенко Э.А., Савастенко А.А. Отключение цилиндров как способ улучшения топливной экономичности бензиновых двигателей // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
- 8 Журавлев С.С., Зубарев К.В. Апробация способа управления мощностью ДВС отключением цилиндров // Техника и технологии строительства. – 2015. – № 3 (3). – С. 14–20.
- 9 Иванов Р.В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. На соискание уч. степени канд. техн. наук. – Волгоград, 2010. – 40 с.

#### REFERENCE

- 1 Surkin, V.I., Petelin, A.A., Fedoseev, S.Y. (2012). Regulirovanie raboty dvigatel'ia traktorno-transportnogo agregata otklucheniem chasti ego cilindrov [Regulation of the Engine Operation of the Tractor Transport Unit by Cutting off Part of Its Cylinders]. Izvestiya Samarskogo selskokhoziastvennogo universiteta - Bulletin Samara State Agricultrual Academy [in Russian].
- 2 Khimchenko, A.V., Mishin, D.G., Buzov, A.V. (2013). Snizhenie neravnomernosti krutiashego momenta dvigatel'ia s otklucheniem cilindrov na rejimakh chastichnogo nagrujenia [Reducing the Unevenness of the Engine's Torque with the Disengagement of the Cylinders under Partial Loading Regimes]. Dvigateli vnutrenego sgoraniya - Internal combustion engines [in Russian].
- 3 Karakaev, A.K. (2007). Gidrodinamika vpryskivania topliva v dizeliakh [Hydrodynamics of fuel injection in diesel engines]. Pavlodar: Izdatelstvo "KEREKU" PGU im. S. Toraiygrova [in Russian].
- 4 Karakaev, A.K. (2008). Istoricheskiy obzor nauchnykh issledovaniy po sovershenstvovaniyu processov vpryskivania topliva v dizeliakh i raspyleniya zhidkostey [Historical review of scientific research on improving processes fuel injection in diesel engines and spraying liquids]. Pavlodar: Izdatelstvo "KEREKU" PGU im. S. Toraiygrova [in Russian].
- 5 Karakaev, A. K. (2016). Toplivnaya sistema s gidrozapiraniem forsunok kak osnova dlia sozdaniya dizelei s upravlyаемыми параметрами в прыскивания топлива [Fuel system with hydraulic locking of injectors as a basis for creating diesel engines with controlled fuel injection parameters]. Pavlodar: Kereku [in Russian].
- 6 Karakaev, A. K. (2016). Povysheniye tekhniko-economichekikh pokazateley dizelei putem recirkuliacii otrabotavshikh gazov [Improving the technical and economic performance of diesel engines by exhaust gas recirculation]. Pavlodar: Kereku [in Russian].
- 7 Markov, V.A., Devyanin, S.N., Savastenko, E.A., Savastenko, A.A. (2014). Otkluchenie cilindrov kak sposob uluchsheniya toplivnoy ekonomichnosti benzinovykh dvigateley [Disengagement of Cylinders as a Way to Improve the Fuel Economy of Gasoline Engines]. Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry [in Russian].
- 8 Zhuravlev, S.S., Zubarev, K.V. (2015). Aprobatsiya sposoba upravleniya moshnosty DVS otklucheniem cilindrov [Approbation of the Method for Controlling the Engine Power by Switching off the Cylinders]. Tekhnika i tekhnologii stroitelstva - Engineering and technology of construction [in Russian].
- 9 Ivanov, R.V. (2010). Diagnostirovaniye DVS po parametru moshchnosti mekhanicheskikh poter' Dokt. [Diagnosis of ICE by the parameter of the power of mechanical losses]. Extended abstract of Doctor's thesis. Volgograd [in Russian].

А.А. Кусаинов<sup>1</sup>, А.К. Каракаев<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан

#### Цилиндрлерді мерзімді өшіру жүйесі мен дизельдік қозғалтқыштың жұмыс циклін модельдеу

Ішкі жану қозғалтқыштары қуат пен жылдамдықтың өзгеруінің кең ауқымында жұмыс істейді. Бұл көбінесе жұмыс уақытының едәуір бөлігін бөлшек және бос жүктемелерде жұмыс істейтін автотракторлық қозғалтқыштар мен тепловоз қозғалтқыштарына қатысты.

Қозғалтқыштарды жобалау кезінде олардың негізгі құрылымдық және орналасу параметрлерін таңдау максималды момент пен номиналды қуат режимдерінде қажетті қуат пен үнемділікті қамтамасыз етуді ескере отырып, жан-жақты жүзеге асырылады. Алайда, төмен жүктемелер мен жұмыс істемейтін режимдерде заманауи жоғары вольтты дизельді қозғалтқыштардың үнемді жұмысын қамтамасыз ету, негізінен, отынның тиімді қоспасы мен жануын ұйымдастырумен, сондай-ақ тұрақты отынмен қамтамасыз етумен байланысты бірқатар мәселелерді тудырады. Осылайша, бос жүріс режимінде айдалатын отынның циклдық мөлшерін номиналды режимдегі циклдық мөлшерден 8-12 есе аз, бұл отын аппаратурасына қойылатын жоғары талаптарды және қоспаның сапалы түзілуін қамтамасыз ету қиындықтарын айқындайды. Сонымен қатар, жұмыс істемейтін режимдердегі тепловоз қозғалтқыштары отынның 15-20 %-ын жұмсай отырып, жалпы пайдалану уақытының 50 %-на дейін жұмыс істейді. Жүк автомобильдерінің қозғалтқыштары үшін салыстырмалы жұмыс уақыты шамамен 20-25 % құрайды. Осылайша, жұмыс істемейтін режимдерде дизельді қозғалтқыштардың тиімділігін арттыру бойынша шараларды әзірлеу өзекті болып табылады.

Мақсаты – автотракторлық және тепловоздық мақсаттағы дизельді қозғалтқыштардағы циклдарды ажыратудың цилиндрдегі жұмыс үрдістеріне және циклдің индикаторлық параметрлеріне әсерін сандық талдауды орындау.

Әдістері: мақаланы жазу кезінде салыстыру, сипаттау, өлшеу сияқты дәстүрлі әдістер, сонымен қатар талдау, жалпылау және т. б. жалпы логикалық әдістер қолданылды.

Циклдарды өшіру жүйесімен жабдықталған дизель қозғалтқышының жұмыс циклына сандық талдау жасалды. Циклдарды ажырату кезінде бос жүктеме режимдеріндегі қозғалтқыштың жұмыс циклінің индикаторлық көрсеткіштерімен отын бүрку сипаттамаларының өзгеруінің өзара байланысы ашылды. Қозғалтқыштың белгілі бір жұмыс режиміндегі циклдерді өшірудің орындылығы, ең алдымен, бүрку үрдістерінің, қоспаның пайда болуы мен отынның жануының ерекшеліктерімен анықталады.

Түйін сөздер: өшіру циклдері, отын бүрку сипаттамалары, механикалық шығындар, жылу генерациясының сипаттамалары.

**A.A. Kussainov<sup>1</sup>, A.K. Karakaev<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Toraighyrov University, Kazakhstan

### **Simulation of the working cycle of a diesel engine with a system of periodic shutdown of the cylinders**

Combustion engines operate over a wide range of power and speed. To the greatest extent, this applies to automotive and tractor engines and diesel engines operating at fractional and idle loads for a significant part of the operating time. When designing engines, the choice of their main design and layout parameters is carried out in a comprehensive manner, taking into account the provision of the required power and efficiency in the modes of maximum torque and rated power. However, ensuring the economical operation of modern highly accelerated diesel engines at low loads and idling causes a whole range of problems related mainly to the organization of effective mixture formation and fuel burnout, as well as to ensuring stable fuel supply. Thus, the cycle dose of injected fuel in idle mode is 8–12 times less than the cycle dose in nominal mode, which determines increased requirements for fuel equipment and difficulties in ensuring high-quality mixture formation. At the same time, diesel engines operate in idle mode up to 50 % of the total operating time, consuming up to 15–20% of the fuel. For truck engines, the relative idle time is approximately 20–25 %. Thus, the development of measures to improve the efficiency of diesel engines at idle is relevant.

The purpose is to perform a numerical analysis of the effect of switching off cycles in diesel engines for autotractor and diesel locomotive purposes on the working processes in the cylinder and the indicator parameters of the cycle in idle modes.

When writing the article, traditional methods (comparison, description, and measurement), generallogical methods and research techniques (analysis, generalization, etc.) were used.

A numerical analysis of the operating cycle of a diesel engine equipped with a cycle shutdown system was performed. The relationship between changes in fuel injection characteristics when cycles are turned off with indicator indicators of the engine operating cycle in idle load modes is disclosed. It has been established that the expediency of switching off cycles in a specific engine operation mode is determined primarily by the features of the injection, carburetion and fuel burnout processes.

Keywords: shutdown cycles, fuel injection characteristics, mechanical losses, heat generation characteristics.

**Дата поступления рукописи в редакцию: 25.01.2022 г.**