

tike. / A. A. Aljamovskij, A. A. Sobachkin, E. V. Odincov, A. I. Hari-tonovich, N. B. Ponomarev – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 800 s.
6. Stokov A. P. Jeksperimental'noe opredelenie gidravlicheskogo soprotivlenija maketa modulja fil'tra tverdyh chastic bystrohodnogo dizelja / A. P. Stokov, A. N. Kondratenko // Avtomobil'nyj trans-

port: sbornik nauchnyh trudov. – 2011. Vypusk 29. – S. 48-54; 7. Ametistov E. V. Teplo- i massoobmen. Teplotehnicheskij jeksperiment: Spravochnik / E. V. Ametistov, V. A. Grigor'ev, B. T. Emcov i dr.; Pod obw. red. V. A. Grigor'eva i V. M. Zorina. – M.: Jenergoizdat, 1982.–512 s.

УДК 629.33:621.43

А. А. Грабовский, канд. техн. наук, И.И. Артемов, д-р техн. наук

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Введение

С ростом транспортного парка связывают рост загрязнения окружающей среды. Основным источником загрязнения являются ДВС. По оценкам специалистов вредные выбросы, приходящиеся на долю транспорта, составляют 1/3 от общего объема.

Анализ многочисленных исследований транспортных ДВС в эксплуатации показывает, что для них характерны, во-первых, частая смена режимов, во-вторых, значительная доля времени работы на режимах холостого хода и малых нагрузках. Так, для двигателей грузовых автомобилей средней грузоподъемности при эксплуатации в городе холостой ход составляет около 20 % времени. При нагрузке, соответствующей 80 % от максимальной, на данном скоростном режиме – около 40 % времени.

Режим холостого хода для двигателей автобусов в городских условиях составляет 30 % от общего времени работы. Загрузка двигателей тракторов типа Т-150К по мощности колеблется в широких пределах: при нагрузке до 50 % двигатель работает примерно 40% времени, столько же – при нагрузке 50-65 % и только 20 % времени – при нагрузке 70 % и выше.

Эти данные говорят о значимости работ, направленных на повышение топливной эффективности двигателей при работе на холостом ходу, переходных режимах и режимах частичных нагрузок. Они, в основном, определяют эксплуатационный расход топлива и являются наиболее весомыми с

точки зрения расхода топлива и вредных выбросов.

Увеличение удельного расхода топлива при работе ДВС на режимах холостого хода, малых нагрузок и переходных процессов в основном определяется ухудшением смесеобразования, увеличением относительных потерь теплоты в охлаждающую жидкость и масло, температура которых на частичных режимах, как правило, понижается. Так же при работе двигателей на малых нагрузках увеличивается относительная доля затрат полезной мощности на преодоление механических сопротивлений, а при работе на холостом ходу вся развиваемая двигателем мощность (15...25 % от расхода по номинальной мощности) расходуется на преодоление трения, газообмен и на привод вспомогательных механизмов. Все отмеченные факторы приводят к тому, что удельный расход топлива при работе двигателя на малых нагрузках и холостом ходу в 1,5...5 раз выше, чем при работе на номинальной мощности, что напрямую определяет значения экологических показателей.

Проблема охраны окружающей среды является одной из глобальных общечеловеческих проблем, от решения которой зависит жизнь на Земле, здоровье человечества. Уменьшение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами, выделяемыми автотранспортом, является большой частью проблемы защиты окружающей среды. В таблице 1 приведены данные по содержанию токсических веществ в атмосфере.

Таблица 1. Характеристики режима работы двигателя и показатели токсичности в цикле городского движения (данные автополигона НАМИ)

Режим работы двигателя	Доля режимов, %					По расходу топлива
	По времени	По объему ОГ	По выбросам			
			СО	СН	NO	
Холостой ход	39,5	10	13...25	15...18	0	15
Разгон	18,5	45	29...32	27...30	75...86	35
Установившийся режим	29,5	40	32...43	19...35	13...23	37
Замедление	12,8	5	10...13	23...32	0...15	13

По данным специалистов выбросы автомобильного транспорта в атмосферу составляют до 90% по окиси углерода и 70 % по окиси азота. В некоторых крупных городах, имеющих наибольшее количество автомобилей на единицу площади, содержание вредных веществ в атмосфере достигло или приближается к опасной для здоровья человека концентрации

Задача состоит в поиске компромисса между снижением токсичности отработавших газов и расходом топлива. Дороговизна конструкторских решений по данным вопросам и присущие им недостатки препятствуют их всеобщему распространению.

Наиболее неблагоприятными, с позиции токсичности, являются режимы разгона, замедления и холостого хода. Наличие средств регулирования дорожного движения в городах, решая проблему обеспечения безопасности движения, приводит к увеличению выбросов вредных веществ. Остановки на перекрестках на запрещающий сигнал светофора не только вызывают повышение расхода топлива, но из-за большого скопления автомобилей увеличивают загазованность территорий, приближенных к перекресткам.

Вместе с тем, существуют и другие способы решения проблемы. Так, если на время остановки на светофоре автоматизированная система управления (АСУ) на 1-2 мин. выключала бы двигатель, расход топлива мог бы уменьшиться на 10 - 15 %, а выбросы вредных веществ – на 10 - 20 %. Кроме того, произошло бы снижение шумового действия. При этом необходимо учитывать, что за две минуты температура ДВС снижается на 5-7°C.

Второй способ, это переход на газомоторные топлива (ГМТ). Утверждения специалистов об экологической чистоте газовых ДВС, как правило, основаны на чисто теоретических умозаключениях. На практике результат несколько иной. Бесспорно значительное снижение объёма вредных выбросов ДВС, работающих на ГМТ. Это весомый аргумент в пользу газификации наземных транспортных средств (НТС). Но это достигается на ДВС со степенями сжатия порядка 9-10 и выше, газинжекторными (инъекционными) системами питания и системами зажигания с соответствующими энергетическими характеристиками параметров. Газоэжекторные системы питания не в состоянии обеспечить требуемую экологическую чистоту и такие ДВС являются не менее «грязными» чем бензиновые или дизельные.

Анализ различных способов снижения расхо-

да топлива показал, что наиболее эффективным является отключение части цилиндров. Для четырехтактных двигателей он позволяет снизить расход топлива на 20...30% на указанных режимах, что выразится в снижении среднеэксплуатационного расхода топлива на 1...5 %. При этом количество вредных выбросов уменьшится в среднем на 50 %.

На сегодняшний день наиболее перспективными и реальными источниками энергии для наземных транспортных средств, отвечающими все более ужесточающимся экологическим требованиям, являются комбинированные и гибридные силовые агрегаты на основе ДВС с оригинальными конструктивными решениями, с отключающимися цилиндрами в зависимости от нагрузки и режима функционирования.

Дискретное изменение мощности ДВС и оценка экологических параметров

Реализация дискретного изменения мощности (ДИМ) заключается в поочередном отключении цилиндров с соблюдением установленного порядка работы (срабатывание всех цилиндров за два оборота), т. е. реализация «растянутого» порядка работы (срабатывание всех цилиндров за четыре, шесть или двенадцать оборотов) [1, 2]. При эксплуатации транспортного средства на частичных и средних нагрузках, например, в городском цикле, при движении по просёлочным дорогам и при движении с постоянной скоростью по среднескоростной автомагистрали или при работе двигателя на холостом ходу, обеспечивается прекращение подачи топлива в отключаемые цилиндры посредством отключения форсунок, например, с электромагнитным управлением. Это достигается за счет пропуска микропроцессорной системой управления двигателем управляющих импульсов, с соблюдением значений фаз газообмена, поочередно, с формированием "растянутого" порядка работы цилиндров ДВС. Шаг пропуска управляющих импульсов между рабочими ходами выражается в соответствующем значении угла поворота коленчатого вала φ , равном $(2\pi t - \pi i)/i$, где t – частота вращения коленчатого вала двигателя, соответствующая полному циклу срабатывания всех цилиндров двигателя, i - число цилиндров.

Для расширения параметров дискретизации, из общего числа цилиндров двигателя формируют основную группу активных цилиндров и одну, две вспомогательные группы, с соблюдением вышеуказанной последовательности срабатывания цилиндров в каждой из групп, со сдвигом первого

условного цилиндра последующей группы относительно первого цилиндра основной группы на угол α .

Значение угла α выражается в градусах поворота коленчатого вала между началами одноименных тактов в обычном режиме функционирования двигателя или αk , где k – коэффициент кратности. При этом в каждой группе обеспечивается "растянутый" порядок работы цилиндров ДВС с шагом пропуска между началами рабочих ходов, выражающимся в соответствующем значении угла поворота коленчатого вала φ' , равном $(2\pi m - \pi) / i + \pi$.

Пояснить сущность предлагаемого способа дискретного изменения мощности ДВС можно на примере четырехтактного пятицилиндрового двигателя, реализация «растянутого» порядка работы которого, (рис. 1), заключается в обеспечении очередного пропуска срабатывания цилиндров. Это обеспечивается путем прекращения подачи топлива в отключаемые цилиндры двигателя, посредством управления соответствующими форсунками, в зависимости от требуемой мощности при каждой частоте вращения коленчатого вала. Для шестицилиндрового, четырехтактного ДВС с порядком работы 1 – 3 – 5 – 6 – 4 – 2 при переходе на 50 %-е значение мощности или работе ДВС в буферном режиме с интегрированным мотор-генератором (ИМГ) в гибридных или комбинированных силовых установках, формируют три группы цилиндров:

1-я группа - 1-0-0-0-0-0-0-3-0-...-0-5-0-...-0-6-0-...-0-4-0-...-0-2-0-0-0-0-0-0;

2-я группа - 6-0-0-0-0-0-0-4-0-...-0-2-0-...-0-1-0-...-0-3-0-...-0-5-0-0-0-0-0-0;

3-я группа - 2-0-0-0-0-0-0-1-0-...-0-3-0-...-0-5-0-...-0-6-0-...-0-4-0-0-0-0-0-0, со смещением первого цилиндра второй группы относительно первого цилиндра первой группы по углу поворота коленчатого вала на угол αk , равный 360° , при значении α , равном 120° и k , равном 3 и смещением первого цилиндра третьей группы на угол 600° при том же значении α и k , равном 5. Тогда общий порядок работы станет 1-0-0-6-0-2-0-3-0-0-4-0-1-0-5-0-0-2-0-3-0-6-0-0-1-0-5-0-4-0-0-3-0-6-0-2-0-0-5-0-4-0 с периодом повторения, равным четырем оборотам коленчатого вала.

При переходе на 30 %-е значение мощности или работе ДВС в буферном режиме с ИМГ в гибридных или комбинированных силовых установках, формируют две группы цилиндров:

1-я группа 1-0-0-0-0-0-0-3-0-...-0-5-0-...-0-6-0-...-0-4-0-...-0-2-0-0-0-0-0-0;

2-я группа 5-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0, со смещением первого цилиндра второй группы относительно первого цилиндра первой группы по углу поворота коленчатого вала на угол αk , равный 360° при значении α , равном 120° и k , равном 3. В этом случае общий порядок работы станет 1-0-0-6-0-0-0-3-0-0-4-0-0-0-5-0-0-2-0-0-0-6-0-0-1-0-0-0-4-0-0-3-0-0-0-2-0-0-5-0-0-0 с периодом повторения, равным шести оборотам коленчатого вала. На режиме холостого хода при переходе на 15 %-е значение мощности порядок работы станет - 1-0-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-6-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0, где 0 – шаг пропуска рабочих ходов, а угол φ' в группе для любого из вариантов будет равен

$$\varphi' = (2\pi m - \pi) / i + \pi.$$

Так, для нормального режима $(2 \times 3,14 \times 2 - 3,14 \times 6) \div 6 + 3,14 = 2,1\pi = 120^\circ = 0,33$ об. к.в.

Для ДИМ при 15 %-м значении мощности $(2 \times 3,14 \times 14 - 3,14 \times 6) \div 6 + 3,14 = 14,65\pi = 845^\circ = 2,3$ об. к.в.

Аналогичные схемы могут быть применены для многоцилиндровых ДВС с парным или непарным количеством цилиндров, работающих по двухтактному и четырехтактному циклу, а именно для рядных и V – образных 4-х, 5-ти, 6-ти, 8-ми, 10-ти и 12-ти цилиндровых ДВС, а также для W – образных двигателей, работающих как отдельно, так и в составе модульных силовых установок (МСУ).

Для подтверждения теоретических положений и результатов по дискретному изменению мощности проведены натурные испытания дизеля Д-50 дизельгенератора 1-ПДГ4Д в режиме дискретного изменения мощности. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

В ходе проведения эксперимента установлено, что частота вращения коленчатого вала, в режиме холостого хода, при переходе на «растянутый» порядок работы соответствует установленной величине $n = 300$ мин⁻¹ и ее отклонение не превышает величину, установленную для нормального порядка работы. Рабочая температура двигателя снизилась на два градуса ($t_{ож} = 68^\circ\text{C}$, $t_{м} = 68^\circ\text{C}$).

Двигатель работает устойчиво, более «мягкая» его работа отмечалась при реализации «пилотного» впрыскивания топлива.

Более «жесткая» его работа соответствовала одинарному впрыскиванию на средних значениях углов опережения впрыскивания.

Экономичность работы двигателя на режиме ДИМ 15% ухудшилась на 7 – 17 %, что объясняется

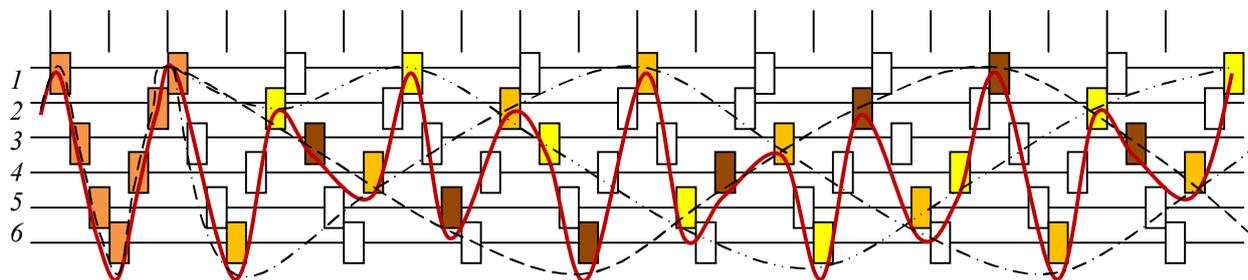
значительными насосными потерями и потерями на сжатие в пассивных цилиндрах (на один «активный» шесть «пассивных»).

Экологические показатели по CO и NO_x в сравнении со штатными режимами, в 2-3 раза вы-

ше.

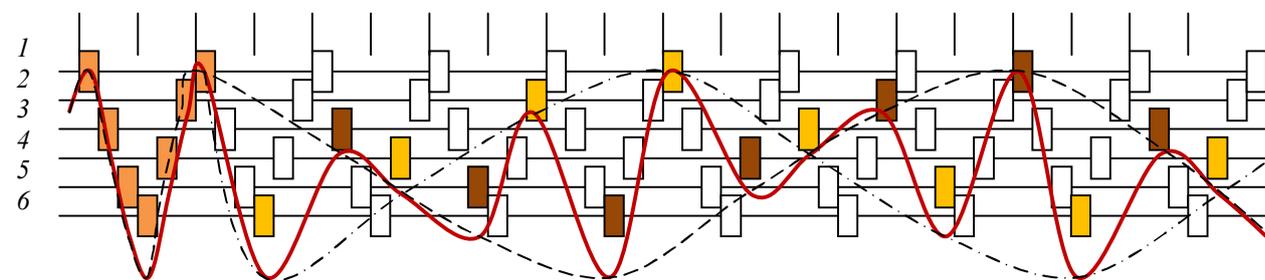
При переходе в режиме ДИМ 30% на холостой ход несколько улучшился часовой расход (превышение 5 – 10 %) при тех же экологических показателях.

Формирование порядка работы шестицилиндрового четырехтактного ДВС при 50 % мощности (средние нагрузки и частичные нагрузки, холостой ход)



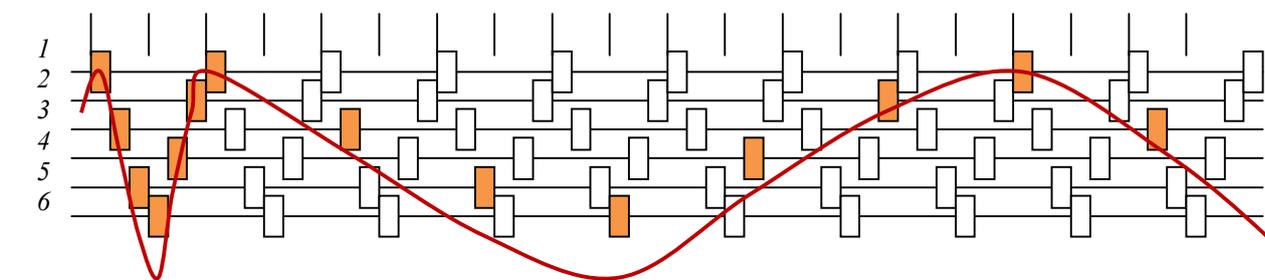
1-я группа ----- 1-0-0-0-0-0-3-0-0-0-5-0-0-0-6-0-0-0-4-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0-0
 2-я группа ----- 6-0-0-0-0-0-0-4-0-0-0-2-0-0-0-0-1-0-0-0-3-0-0-0-5-0-0-0-0-0-0-0
 3-я группа ----- 2-0-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-3-0-0-0-5-0-0-0-6-0-0-0-4-0-0-0-0-0-0-0-0
 ДИМ 50 % - 1-0-0-6-0-2-0-3-0-0-4-0-1-0-5-0-0-2-0-3-0-6-0-0-1-0-5-0-4-0-0-3-0-6-0-2-0-0-5-0-4-0-

Формирование порядка работы шестицилиндрового четырехтактного ДВС при 30% мощности (частичные нагрузки и холостой ход)



1-я группа ----- 1-0-0-0-0-0-0-3-0-0-0-5-0-0-0-6-0-0-0-4-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0-0
 2-я группа ----- 6-0-0-0-0-0-0-0-4-0-0-0-2-0-0-0-0-1-0-0-0-3-0-0-0-5-0-0-0-0-0-0-0
 ДИМ 30% - 1-0-0-6-0-0-0-3-0-0-4-0-0-0-5-0-0-0-2-0-0-0-6-0-0-1-0-0-0-4-0-0-3-0-0-0-2-0-0-5-0-0-0-0

Формирование порядка работы шестицилиндрового четырехтактного ДВС при 15% мощности (холостой ход)



ДИМ 15 % - 1-0-0-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-0-0-5-0-0-0-0-0-0-6-0-0-0-0-0-0-4-0-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0-0

Примечание: На рисунках цифрами обозначены номера цилиндров, стробы соответствуют оборотам коленчатого вала, а затененные и светлые фигуры обозначают активные и пассивные цилиндры соответственно, при нормальном и растянутом порядках работы.

Рис. 1. Схемы формирования порядка работы цилиндров шестицилиндрового четырехтактного ДВС при ДИМ

Таблица 2. Варианты испытаний и результаты исследования.

а) холостой ход:

Режим функционирования ДВС	Вариант подачи топлива и угол опережения впрыскивания, °	Часовой расход топлива, кг/час	Количество вредных веществ, $P_{рт}$ ($млн^{-1}$)		
			CO	NO	C ₃ H ₈
1-й вариант испытаний					
Нормальный порядок работы двигателя	Одинарный 10°	7,59	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя	Пилотный 10°	8,92	0	0	11
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 10°	8,54	0	0	1
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 16°	8,25	1	1	0
«Растянутый» порядок работы двигателя	Одинарный 18°	8,15	1	1	0
2-й вариант испытаний					
Нормальный порядок работы двигателя (хх) (24.9.10)	Одинарный 16°	6,27	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 30%) (хх)	Одинарный 26°	6,9	0	1	8
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 30%) (хх)	Одинарный 26°	6,6	0	0	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (хх)	Одинарный 18°	6,10	0	0	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (хх)	Одинарный 24°	6.42	0	0	8

б) частичные нагрузки:

Режим функционирования ДВС	Вариант подачи топлива и угол опережения впрыска, °	Удельный расход топлива, кг/л.с.·час; угол пов. КВ, °	Количество вредных веществ, $p_{рт}$		
			CO	NO	C ₃ H ₈
Нормальный порядок работы двигателя (75л.с., 300 мин ⁻¹)	Одинарный	193,2	3	2	6
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50%) (75л.с., 300 мин ⁻¹)	Одинарный 18°	265,1	0-1	0-1	1-3
Нормальный порядок работы двигателя (240л.с., 330 мин ⁻¹)	Одинарный	157,2	1	9	2
«Растянутый» порядок работы двигателя (ДИМ 50 %) (240 л.с., 400 мин ⁻¹)	Одинарный 16°	190,8	1	0	9

При переходе в режиме ДИМ 50% на холостой ход улучшился часовой расход (экономия 3 %) при тех же экологических показателях.

В режиме частичных нагрузок в обоих случаях наблюдается превышение удельного расхода топлива, 37 % и 21 % соответственно для первого и третьего положений контроллера. Однако экологические показатели в обоих случаях выше.

Эффект от использования данного технического решения состоит в том, что увеличивается производительность двигателя за счет уменьшения времени выхода на режим при переходе на полную мощность, повышаются экономические и экологические показатели, а также в том, что повышается надежность двигателя за счет исключения дополнительных механизмов.

Уменьшение времени выхода на режим при переходе на полную мощность происходит за счет того, что тепловой режим процесса функционирования стабилизирован, это же обуславливает высокие экономические и экологические показатели.

Заключение

Представленное техническое решение направлено на улучшение экономических и экологических параметров и разрабатывалось для возможной реализации в перспективных ДВС, работающих в составе гибридных и комбинированных силовых агрегатов.

Дискретное изменение мощности ДВС, даже без изменения режима функционирования ГРМ, позволяет примерно в 2-3 раза снизить количество вредных выбросов, а совместная реализация ДИМ с ГРМ с управляемыми фазами газораспределения (ФГР), обеспечит снижение насосных потерь и потерь на сжатие в пассивных цилиндрах и позволит получить расчетные (требуемые) значения по экономичности.

Список литературы:

1. Пат. № 2380562, Российская Федерация, МПК F02D 17/02; Способ дискретного изменения мощности ДВС (Варианты) / А. А. Грабовский; заявитель и патентообладатель А. А. Грабовский. - № 2008104241; Заявлено 04. 02. 2008, Опубликовано 27. 02. 2010 г., Бюл. № 3. 2. Грабовский А. А. ДВС с дискретным изменением мощности / А. А. Грабовский // Автомобильная промышленность. - 2008. - № 2. - С. 8-12.

Bibliography (transliterated):

1. Pat. № 2380562, Rossijskaja Federacija, MPK F02D 17/02; Sposob diskretnogo izmenenija mownosti DVS (Varianty) / A. A. Grabovskij; zajavitel' i patentoob-ladatel' A. A. Grabovskij. - № 2008104241; Zajavleno 04. 02. 2008, Opublikovano 27. 02. 2010 g., Bjul. № 3. 2. Gra-bovskij A. A. DVS s diskretnym izmeneniem mownosti / A. A. Grabovskij // Avtomobil'naja promyshlennost'. - 2008. - № 2. - S. 8-12.

УДК 621.1.018

А.П. Поливянчук, канд. техн. наук

МЕТОДИКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОТДАЧИ В ТРУБОПРОВОДЕ РАЗБАВЛЕНИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ ВОЗДУХОМ (ТУННЕЛЕ)

Введение

С отработавшими газами (ОГ) дизеля в атмосферу поступают твердые частицы (ТЧ) – опасный загрязнитель, занимающий 2-е место (после оксидов азота NO_x) по вкладу в суммарную токсичность дизеля. С целью уменьшения загрязнения окружающей среды ТЧ в странах ЕС, США, Японии, Украине, России и др. введены ограничения на массовые выбросы ТЧ дизелей и разработаны методы их определения [1-3].

Для измерения выбросов ТЧ с ОГ дизелей используется специальное оборудование – разбавляющие туннели, в которых имитируется естественный процесс образования ТЧ в атмосфере путем разбавления ОГ дизеля воздухом. В зависимости от количества разбавляемых ОГ туннели делятся на *полнопоточные*, которые являются эталонным, но неудобным в эксплуатации оборудованием по при-

чине своей громоздкости и высокой стоимости, и *частичнопоточные* – компактные и экономичные мини- и микротуннели, получившие наибольшее распространение [4].

Особенностью использования частичнопоточных туннелей является необходимость обеспечения в них таких же условий разбавления ОГ, характеризующих степень разбавления воздухом и температурой пробы, как в эталонной системе. Чтобы выполнить данное условие необходимо вычислять температуру разбавленных ОГ в эталонном туннеле, а для этого должен быть определен средний коэффициент теплоотдачи в трубопроводе разбавления ОГ – α_t .

Постановка задачи

Целью исследований являлось создание методики и экспериментальной установки для определения коэффициента теплоотдачи α_t в любом раз-