

УДК 621.43.068.4

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-236-6-81-88

**А.А. Мельберт, О.В. Ударцева,
И.С. Литвиненко, Е.А. Машенская**
A.A. Melbert, O.V. Udartseva,
I.S. Litvinenko, E.A. Mashenskaya

ВЛИЯНИЕ РАЗРЕЖЕНИЯ НА ВПУСКЕ И ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ВЫПУСКЕ НА ВЫБРОСЫ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДВС В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

INFLUENCE OF RAREFACTION AT INLET AND OVERPRESSURE AT OUTLET ON EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES WITH EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN THE ENERGY SECTOR OF AGRICULTURE

Ключевые слова: вредные вещества, выбросы, дизельный двигатель, окружающая среда, разрежение, впуск, противодействие, выпуск, отработавшие газы.

Приведены результаты стендовых испытаний по влиянию разрежения на впуске и избыточного давления на выпуске на уровень выбросов вредных веществ (СО, СхНу, NO_x, твердые частицы) с отработавшими газами (ОГ) у дизеля размерности 6ЧН 15/18 (тип Д6), предназначенными для применения в качестве энергетических агрегатов в мобильных и стационарных дизель-генераторах в сельском хозяйстве. В опытах при отключенном турбокомпрессоре реализовывали такие регулировки газораспределительного механизма, которые обеспечивали воздуха на впуске от 0,98 до 4,9 кПа (от 100 до 500 мм вод. ст.), и избыточное давление ОГ на выпуске $\Delta P_{\text{вып}}$ с 3,43 до 13,73 кПа (от 350 до 1400 мм вод. ст.), после чего наддув включали и испытывали ДВС на установившихся режимах, проводили отбор ОГ, физико-химический анализ их состава, определение дисперсности твердых частиц, а также рассчитывали величину техногенной нагрузки. Результаты исследования показали, что при увеличении разрежения на впуске $\Delta P_{\text{вп.}}$ от 0,98 до 4,9 кПа дымность ОГ возрастает, выбросы NO_x снижаются в 1,25 раза, выбросы СО – в 1,25, а выбросы твердых частиц и СхНу увеличиваются в 1,35 и 1,75 раза соответственно. При этом величина техногенной нагрузки уменьшается в 1,24 раза. При увеличении избыточного давления на выпуске $\Delta P_{\text{вып.}}$ от 3,43 до 13,73 кПа, за исключением

СО, выбросы всех вредных веществ возрастают, что приводит к росту техногенной нагрузки на окружающую среду в 1,29 раза. ДВС типа Д6 в серийной комплектации не обеспечивает достижение всех уровней по нормам выбросов стандартов Stage, что требует установки дополнительных технических средств для снижения выбросов вредных веществ (NO_x, СО, твердые частицы).

Keywords: harmful substances, emissions, diesel engine, environment, rarefaction, inlet, backpressure, exhaust, exhaust gases.

This paper discusses the results of rig tests on the influence of inlet rarefaction and overpressure at the outlet on the level of emissions of harmful substances (CO, CxHy, NO_x, solid particles) with exhaust gases (EG) of 6ЧН 15/18 (in Russian) diesel engine (D6-type) designed for use as power units in mobile and stationary diesel generators in agriculture. In the experiments, with the turbocharger disconnected, such adjustments of the gas distribution mechanism were realized which provided air discharge at the inlet from 0.98 to 4.9 kPa (from 100 to 500 mm Hg), and the excess pressure of the exhaust gas at the outlet from 3.43 to 13.73 kPa (from 350 to 1400 mm Hg). After that, the supercharger was switched on and the internal combustion engine was tested at steady-state modes, the exhaust gas was sampled, physico-chemical analysis of its composition, determination of particulate matter dispersion, and the technogenic load was calculated. The results of the study have shown that when the inlet

rarefaction increases from 0.98 to 4.9 kPa, the exhaust gas smoke increases, NO_x emissions decrease 1.25 times, CO emissions decrease 1.25 times, and particulate matter and C_xH_y emissions increase 1.35 and 1.75 times, respectively. At the same time, the technogenic load decreases 1.24 times. When overpressure increases at the outlet from 3.43 to 13.73 kPa, except for CO, emissions of all harmful

substances increase which leads to increase of technogenic load on the environment 1.29 times. The internal combustion engine of D6-type in a serial configuration does not provide achievement of all levels by emission standards of the Stage standards which require installation of additional technical means to reduce emissions of harmful substances (NO_x, CO, particulate matter).

Мельберт Алла Александровна, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: aamelbert@mail.ru.

Ударцева Ольга Владимировна, д.т.н., доцент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация, e-mail: udartsevaov@tyuiu.ru.

Литвиненко Илья Сергеевич, ассистент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: litvinenko.i.s.@mail.ru.

Машенская Екатерина Александровна, соискатель, вед. инженер, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: suzuki468@mail.ru.

Melbert Alla Aleksandrovna, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: aamelbert@mail.ru.

Udartseva Olga Vladimirovna, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, e-mail: udartsevaov@tyuiu.ru.

Litvinenko Ilya Sergeevich, Asst., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: litvinenko.i.s.@mail.ru.

Mashenskaya Ekaterina Aleksandrovna, degree applicant, Leading Engineer, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: suzuki468@mail.ru.

Введение

Согласно официальным данным ООН [1] и постоянно обновляющимся докладам ЕЭК ООН [2], за последние 10-15 лет произошло изменение состава и структуры сфер человеческой деятельности, являющихся источником глобальных экологических проблем (изменение климата и сокращение озонового слоя, снижение продолжительности жизни людей и рост их заболеваемости, сокращение биоразнообразия и пр.). Например, отрасль сельского хозяйства и транспорт оказались напрямую связаны с загрязнением воздушной среды вредными веществами (СО, С_xH_y, твердыми частицами – сажей, NO_x и др.), которые неизбежно выделяются с отработанными газами (ОГ) ДВС при использовании в них в качестве топлива различных углеводородов (бензин, дизельное топливо, сжатый или сжиженный природный или нефтяной газ) [3, 4].

Традиционно основная часть ДВС, применяемых в сельском хозяйстве, – дизельные. Они устанавливаются на автомобили, мобильные сельскохозяйственные машины (тракторы, комбайны), а также на стационарную технику (дизель-генераторы) в качестве наиболее экологичных и экономичных энергетических агрегатов [5]. В то же самое время сельскохозяйственная отрасль сама по себе является источником за-

грязнения воздуха [1], поэтому решение проблемы снижения выбросов вредных веществ от ДВС, применяющихся в АПК, безусловно, следует признать одним из простых и эффективных методом снижения общей техногенной нагрузки на окружающую среду [6].

Согласно обзорам [7, 8], основные способы снижения вредных выбросов в атмосферу с ОГ дизелей, уменьшения техногенной нагрузки, а также расхода топлива в ДВС можно представить следующей схемой (рис. 1), где указаны основные действующие причины (механизмы) этих воздействий: снижение температуры, увеличение полноты сгорания, улучшение смесеобразования, увеличение избытка воздуха и пр. Из приведенной схемы следует, что снижение вредных выбросов ДВС можно проводить по нескольким направлениям, но многие требуют внесения существенных изменений в конструкцию ДВС и его систем, либо необходима корректировка рабочего (цилиндрового) процесса, параметров топливоподачи и пр. [9].

В то же время авторами [9-11] отмечена возможность снижения вредных выбросов ДВС путем регулировки параметров разрежения воздуха на впуске $\Delta P_{вп.}$ и избыточного давления ОГ на выпуске $\Delta P_{вып.}$, что также позволяет снизить и расход топлива.

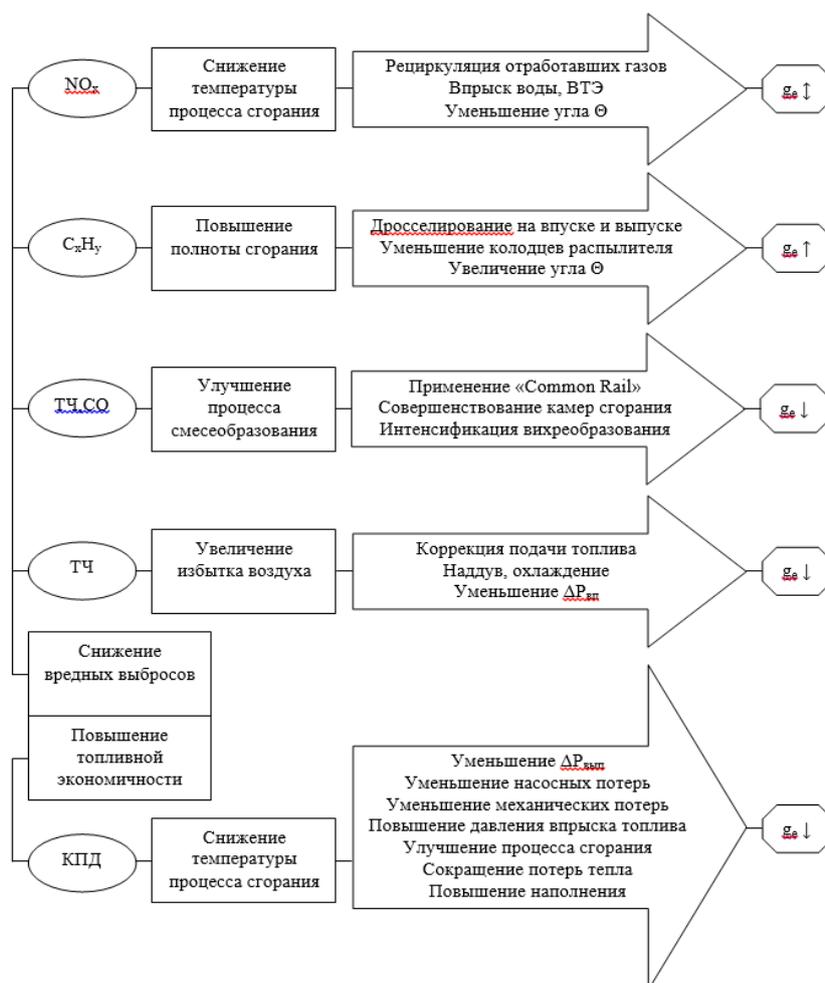


Рис. 1. Основные способы снижения техногенной нагрузки на окружающую среду от дизельных ДВС

Цель работы – исследование влияния разрежения воздуха на впуске и противодействия ОГ на выпуске на эмиссию вредных веществ и техногенную нагрузку на окружающую среду для дизеля типа Дб, используемого в стационарных дизель-генераторах в АПК региона.

Экспериментальная часть

В работе исследовали дизель 5Дб-192 производства АО «Барнаултрансмаш». Стендовые испытания двигателя проводили по ГОСТ 10448-2014 на оборудовании кафедры ДВС ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова». Условия испытаний: номинальная (эффективная) мощность $N_e=137-142$ кВт, частота оборотов коленчатого вала $n=1900$ мин.⁻¹, удельный эффективный расход топлива $g_e=226$ г/кВт·ч, угар масла $\Delta m=0,32\%$, температура окружающей среды $T_0=293-298$ К, атмосферное давление $P_0=0,101-0,102$ МПа, относительная влажность воздуха $\varphi_0=70-75\%$. Использовали дизельное топливо по ГОСТ 305-2013, марка Л-0,2-40, и моторное масло по ГОСТ 6360-2020, марка МТ-16П. Мощ-

ность (электрическую) и частоту оборотов дизеля определяли по штатным контрольным приборам (вольтметр, амперметр, тахометр) дизель-генератора.

Исследование выбросов вредных веществ (CO , C_xH_y , NO_x) проводили по ГОСТ 31967-2012, на газоанализаторе АВГ-4-0-5-01, дымности (с пересчетом на выбросы твердых частиц – ТЧ) – по ГОСТ 24028-2013, на дымомере АВГ-1Д-1. Дисперсность ТЧ рассчитывали в прикладном ПО дымомера турбидиметрическим методом.

Фиксированное на впуске ($\Delta P_{вп.}$) и избыточное давление на выпуске ($\Delta P_{вып.}$) задавали корректировкой времени (угла) открытия впускных (выпускных) клапанов в допускаемых пределах ($\pm 20^\circ$, $\pm 48^\circ$) после или до ВМТ, НМТ. Измерение достигнутого вакуума (избыточного давления) в коллекторах ДВС проводили водяным U-образным манометром-вакуумметром ПМ-2000 (при отключенном турбокомпрессоре и проворачивании коленчатого вала ДВС стартером).

Результаты исследований и их обсуждение

Дизели типа Д6 (размерность 6ЧН 15/18) предназначены для привода генераторов переменного тока мощностью 100 кВт в составе дизель-генератора для стационарных или передвижных электростанций, серий АД, ДГ, У и др. [12]. Такие электростанции широко используются в АПК Алтайского края для электроснабжения удаленных производственных объектов (отделения хозяйств, летние дойки, сервисные и ремонтные площадки и пр.), а также в качестве резервных источников питания на перерабатывающих предприятиях и в населенных пунктах. Также имеется положительный опыт установки этих ДВС в 6- или 8-цилиндровом исполнении на сельскохозяйственные мобильные и специальные машины [13], где они используются в качестве основного энергоагрегата, либо служат для привода специального оборудования, устанавливаемого на колесное шасси (воздушные компрессоры, водяные насосы, лебедки и др.).

Учитывая большой рабочий объем этого ДВС (19,1 л), часовой расход топлива – до 25-45 кг/ч и длительное время его непрерывной работы в составе дизель-генератора – до 10-12 ч. Объем выбросов вредных веществ и, соответственно, техногенной нагрузки на окружающую среду может оказаться значительным – до 1500-2000 г/ч [14].

Как отмечено ранее [15, 16], одним из способов снижения выбросов вредных веществ от дизеля является изменение ($\Delta P_{вп.}$, $\Delta P_{вып.}$) корректировкой продолжительности фаз ГРМ. Для турбированных дизелей указанные параметры правильнее называть «условными».

У дизеля Д6 изменение ($\Delta P_{вп.}$, $\Delta P_{вып.}$) может осуществляться одновременной перестановкой (корректировкой относительного расположения) прямоугольных шлицев шестерен привода распределительных валов (10 шт.) и треугольных шлицев их регулировочных втулок (41 шт.), относительно осей распредвалов, после ВМТ – для впускных клапанов, или до НМТ – для выпускных [12].

Перестановка на один шлиц шестерни привода изменяет соответствующий угол на $\pm 36^\circ$, а регулировочной втулки – на $\pm 8,78^\circ$. Комбинируя эти перестановки на шестерне и втулке, получили фиксированные значения разрежения на впуске $\Delta P_{вп.}$: 0,98; 2,94 и 4,9 кПа (100, 288, 500 мм вод. ст.), а также избыточное давление

на выпуске $\Delta P_{вып.}$: 3,43; 6,86; 13,73 кПа (350, 700, 1400 мм вод. ст.). Результаты измерений выбросов вредных веществ (CO , C_xH_y , NO_x , $ТЧ$) с ОГ, в зависимости от разрежения на впуске, приведены на рисунке 2а, а соответствующие результаты в зависимости от противодавления на выпуске на рисунке 2б. Все измерения произведены на установившихся режимах (по ВСХ – по мощности, оборотам и по часовому расходу топлива).

Как видно из рисунка 2, результаты исследования вредных выбросов дизеля 6ЧН15/18 при изменении разрежения на впуске свидетельствуют о том, что при увеличении этого параметра от 0,98 до 4,9 кПа в ОГ возрастают выбросы $ТЧ$ в 1,35 раза, C_xH_y – в 1,75 раза, однако при этом снижаются выбросы NO_x в 1,25 раза, CO – в 1,25 (рис. 2а).

Такой характер изменения содержания, например NO_x , можно объяснить недостатком кислорода для окисления азота и снижением температуры цикла, а выбросы C_xH_y увеличились как из-за недостатка окислителя, так и вследствие несовершенства процесса смесеобразования при неоптимальной корректировке ГРМ. Об этом несовершенстве свидетельствует и обнаруженное нами практически линейное увеличение относительной дымности ОГ (K) при росте разрежения на выпуске от 22-25 до 80-85%.

Влияние избыточного давления на выпуске на выброс вредных веществ с ОГ оказалось несколько иным (рис. 2б). Хотя увеличение $\Delta P_{вып.}$ с 3,43 до 13,73 кПа, по внешней скоростной характеристике, также приводит к росту выбросов NO_x и $ТЧ$, но выбросы CO и C_xH_y – несколько снижаются. Последнее обстоятельство можно объяснить ростом температур в системе выпуска при достаточном избытке кислорода.

Окончательно установлено, что при изменении противодавления на выпуске в ОГ возрастают выбросы NO_x в 1,31 раза, C_xH_y – в 2,3 раза, $ТЧ$ – в 1,4 раза, однако при этом снижаются выбросы CO в 1,2 раза.

Соответствующие распределения $ТЧ$ по размерам, приведенные на рисунке 3, были получены расчетным путем в прикладном ПО дымомера турбидиметрическим методом (после предварительной калибровки дымомера весовым способом, по стандартному аэрозолю) [17].

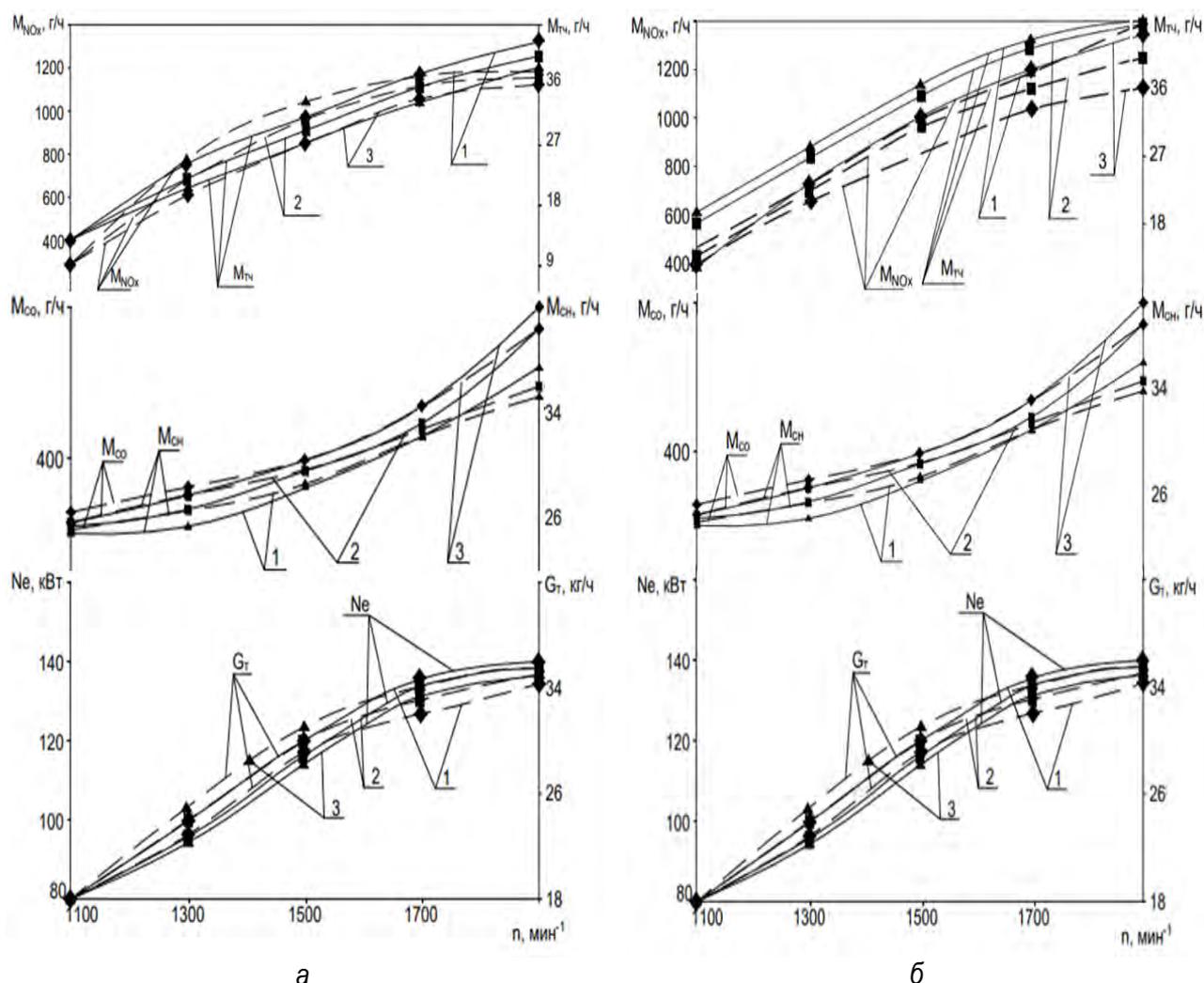


Рис. 2. Влияние разрежения на впуске (а): 1 – 0,98; 2 – 2,94; 3 – 4,9 кПа; противодавления на выпуске (б): 1 – 3,43; 2 – 6,86; 3 – 13,73 кПа, на выбросы вредных веществ, мощность и экономичность дизеля 6ЧН15/18

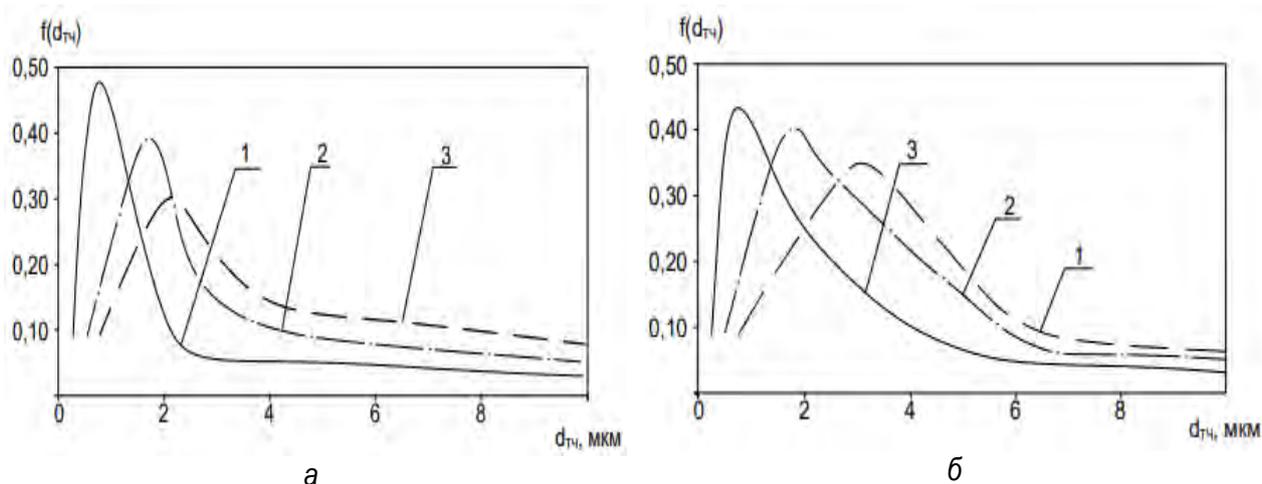


Рис. 3. Влияние разрежения на впуске (а): 1 – 0,98; 2 – 2,94; 3 – 4,9 кПа; противодавления на выпуске (б): 1 – 3,43; 2 – 6,86; 3 – 13,73 кПа на дисперсность твердых частиц в ОГ дизеля 6ЧН15/18 при 1900 мин.⁻¹

Суммарно влияние разрежения на впуске и избыточного давления на выпуске ($\Delta P_{вп.}$, $\Delta P_{вып.}$) на выбросы вредных веществ с ОГ по действию-

ющим нормам Stage [18], нормам РФ (составимы со Stage 1), а также степени их превышения при максимально достигаемых исследован-

ных параметрах в виде $[\Delta P_{\text{вп}} = 4,9 \text{ кПа}]/[\Delta P_{\text{вып.}} = 13,73 \text{ кПа}]$ представлено ниже (табл.).

Анализ данных, приведенных в таблице, показал, что при максимальном сопоставлении степеней превышения выбросов по всем оценочным показателям как для норм Stage, так и норм, действующих с 2021 г. в РФ, с экологической точки зрения наиболее эффективным оказался прием изменения разрежения на впуске.

Также нами была проведена оценка величины, так называемой, техногенной нагрузки $N_{\text{ТН}}$

(рассчитывали по методике, приведенной в [19]). Расчеты показали, что $N_{\text{ТН}}$ составила 72,75 ут/г при $\Delta P_{\text{вп}}=0,98 \text{ кПа}$ и 58,52 ут/г при $\Delta P_{\text{вп}}=4,9 \text{ кПа}$, то есть техногенная нагрузка снизилась в 1,24 раза. Одновременно при увеличении $\Delta P_{\text{вып.}}$ с 3,43 до 13,73 кПа этот экологический параметр составил 73,85 и 57,04 ут/г соответственно, что свидетельствует об увеличении техногенной нагрузки в 1,23 раза.

Таблица

Влияние разрежения на впуске и противодействия на выпуске на выбросы вредных веществ с ОГ ДВС 6ЧН15/18

Показатель	Значение показателя, г/(кВт·ч)						Степень превышения допустимых оценочных выбросов по стандартам: Stage 2/3a/3b/4/РФ	
	Допустимые стандартами					ΔP , кПа		
	Stage 2	Stage 3a	Stage 3b	Stage 4	для РФ (с 2021 г.)	$\Delta P_{\text{вп}}=4,9$		$\Delta P_{\text{вып.}}=13,73$
$q_{\text{ОЦ NO}_x}$	6,00	4,0	2,00	0,40	6,00	9,84	16,35	[1,64/2,46/4,92/24,6/1,64]/ [2,08/3,13/6,25/31,25/2,08]
$q_{\text{ОЦ CO}}$	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	10,04	10,66	[2,87/2,87/2,87/2,87/2,87]/ [3,59/3,59/3,59/3,59/3,59]
$q_{\text{ОЦ C}_x\text{H}_y}$	1,00	1,00	0,19	0,19	0,40	0,42	0,56	[0,42/0,42/2,21/2,21/1,05]/ [0,25/0,25/1,29/1,29/0,61]
$q_{\text{ОЦ ТЧ}}$	0,20	0,20	0,20	0,02	0,10	0,46	0,48	[2,3/2,3/2,3/18,4/4,6]/ [1,75/1,75/1,75/14/3,5]

Выводы

1. При стендовых экологических испытаниях дизеля 6ЧН15/18 установлено, что увеличение разрежения на впуске от 0,98 до 4,9 кПа приводит к увеличению выбросов вредных веществ: C_xH_y (в 1,75 раза), твердых частиц (в 1,35 раза); при этом одновременно снижаются выбросы NO_x (в 1,25 раза), CO (в 1,25 раза).

2. При увеличении противодействия на выпуске у дизеля 6ЧН15/18 с 3,43 до 13,73 кПа увеличиваются выбросы вредных веществ: NO_x (в 1,31 раза), C_xH_y (в 2,3 раза), твердых частиц (в 1,4 раза), но снижаются выбросы CO (в 1,2 раза).

3. Увеличение разрежения на впуске в 5 раз позволяет снизить уровень техногенной нагрузки в 1,24 раза, а увеличение противодействия на выпуске в 4 раза, наоборот, увеличивает этот экологический параметр в 1,29 раза.

4. Несмотря на эффективное влияние исследованных параметров ($\Delta P_{\text{вп.}}$, $\Delta P_{\text{вып.}}$) на выбросы вредных веществ в серийной комплектации дизеля 6ЧН15/18, нормы выбросов по веществам NO_x , CO , твердым частицам не отвечают действующим стандартам Stage и нормам РФ, поэтому его использование на дизель-генераторах в энергетическом секторе АПК без дополнительных технических средств снижения вредных выбросов нежелательно.

Библиографический список

1. Загрязнение воздуха – одна из главных угроз для человека и планеты / Организация Объединенных Наций (ООН): официальный сайт. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/09/1409462>. – Текст: электронный.
2. Air quality in Europe – 2020 report / European Environment Agency: официальный сайт. –

URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>. – Текст: электронный.

3. Bond, T.C., et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A Scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118. 5380-5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.

4. Etminan, M., Myhre, G., Highwood, E., Shine, K. (2016). Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing: Greenhouse gas radiative forcing. *Geophysical Research Letters*. 43(24):12,614-12,623. DOI: 10.1002/2016GL071930.

5. Головатенко, А. Г. Повышение экологичности и экономичности автотракторных двигателей / А. Г. Головатенко. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 9. – С. 16-17.

6. Нгуен, Ч. Х. Методы и средства обеспечения экологической безопасности при механизации производственных процессов в АПК: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 4.3.1 / Нгуен Чан Хынг. – Барнаул, 2023. – 355 с. – URL: <https://vak.minobrnauki.gov.ru/advert/100072669>. 2023. – Текст: электронный.

7. Сырбаев, В. И. Научно-методические основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта: цели, закономерности, теории и методы / В. И. Сырбаев. – Текст: непосредственный // Вестник машиностроения. – 2004. – № 7. – С. 75-77.

8. Стрельников, В. А. Снижение токсичных выбросов автотракторных дизелей / В. А. Стрельников, С. В. Истомин, В. И. Цыпыцын. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 10. – С. 6-8.

9. Мельберт, А. А. Применение топливopдающей аппаратуры с увеличенным давлением впрыска для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду / А. А. Мельберт, Ч. Х. Нгуен, А. В. Машенский. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 5. – С. 325-331.

10. Мельберт, А. А. Результаты применения пористых проницаемых СВС-каталитических

блоков в многоступенчатых нейтрализаторах отработавших газов дизелей / А. А. Мельберт, Ч. Х. Нгуен, А. В. Машенский, В. А. Соколова. – Текст: непосредственный // Известия МГТУ МАМИ. – 2022. – Т. 16, № 3. – С. 201-208.

11. Эфрос, В. В. Улучшение экологических показателей дизелей внедорожной техники / В. В. Эфрос, П. В. Горбунов. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 8. – С. 25-27.

12. Дизели типа Д6 для стационарных и передвижных установок: руководство по эксплуатации. – Барнаул: Типография з-да «Трансмаш», 1986. – 233 с. – Текст: непосредственный.

13. Рожков, П. Г. ОАО «Барнаултрансмаш» – основные направления развития / П. Г. Рожков. – Текст: непосредственный // Двигателестроение. – 1998. – № 4. – С. 3-5.

14. Разлейцев, Н. Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н. Ф. Разлейцев. – Харьков: Высшая школа, 1980. – 169 с. – Текст: непосредственный.

15. Ladommatos, N., Abdelhalim, S., Zhao, H. (2000). The Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Combustion and Emissions. *International Journal of Engine Research*. 1. 107-126. DOI: 10.1243/1468087001545290.

16. Badamasi M., Nura M., Gali M. (2016). Diesel Engine Modification Techniques to Minimize its Exhaust Emission (Theoretical Survey). *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*. 5. 1-7.

17. ГОСТ Р ИСО 11042-1-2001. Установки газотурбинные. Методы определения выбросов вредных веществ. – Москва, 2002. – 33 с. – Текст: непосредственный.

18. Хазин, М. Л. Экологические стандарты стран мира для горных машин и оборудования / М. Л. Хазин. – Текст: непосредственный // Недропользование. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 291-300.

19. Мельберт, А. А. Результаты моделирования техногенной нагрузки на окружающую среду от вредных выбросов дизелей мобильных машин, используемых при проведении сельскохозяйственных работ / А. А. Мельберт, Ч. Х. Нгуен. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9. – С. 101-106.

References

1. Zagriaznenie vozdukha – odna iz glavnykh ugroz dlia cheloveka i planety [elektron. dan.] / Organizatsiia Obieedinennykh Natsii (OON): ofitsialnyi sait. – Rezhim dostupa: <https://news.un.org/ru/story/2021/09/1409462>.
2. Air quality in Europe - 2020 report [elektron. dan.] / European Environment Agency: ofitsialnyi sait. – Rezhim dostupa: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>.
3. Bond, T.C., et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A Scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118. 5380-5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.
4. Etminan, M., Myhre, G., Highwood, E., Shine, K. (2016). Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing: Greenhouse gas radiative forcing. *Geophysical Research Letters*. 43(24):12,614-12,623. DOI: 10.1002/2016GL071930.
5. Golovatenko, A.G. Povyshenie ekologichnosti i ekonomichnosti avtotraktornykh dvigatelei / A.G. Golovatenko // Traktory i selskokhoziaistvennye mashiny. – 2004. – No. 9. – S. 16-17.
6. Nguen Ch.Kh. Metody i sredstva obespecheniia ekologicheskoi bezopasnosti pri mekhanizatsii proizvodstvennykh protsessov v APK: diss. kand. nauk. (4.3.1). – Barnaul, 2023. – Rezhim dostupa: <https://vak.minobrнауки.gov.ru/advert/100072669>.
7. Syrbaev, V.I. Nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniia ekologicheskoi bezopasnosti avtomobilnogo transporta: tseli, zakonomernosti, teorii i metody / V.I. Syrbaev // Vestnik mashinostroeniia. - 2004. – No. 7. - S. 75–77.
8. Strelnikov, V.A. Snizhenie toksichnykh vybrosov avtotraktornykh dizelei / V.A. Strelnikov, S.V. Istomin, V.I. Tsypitsyn // Traktory i selskokhoziaistvennye mashiny. – 2003. – No. 10. – S. 6-8.
9. Melbert A.A. Primenenie toplivopodaiushchei apparatury s uvelichennym davleniem vpryska dlia snizheniia tekhnogennoi nagruzki na okruzhaiushchuiu sredu / A.A. Melbert, Ch.Kh. Nguen, A.V. Mashenskii // Traktory i selskokhoziaistvennye mashiny. – 2022. – T. 89. – No. 5. – S. 325-331.
10. Melbert A.A. Rezultaty primeneniia poristykh pronitsaemykh SVS-kataliticheskikh blokov v mnogostupenchatykh neitralizatorakh otrabotavshikh gazov dizelei / A.A. Melbert, Ch.Kh. Nguen, A.V. Mashenskii, V.A. Sokolova // Izvestiia MGTU MAMI. – 2022. – T. 16. – No. 3. – S. 201-208.
11. Efros, V.V. Uluchshenie ekologicheskikh pokazatelei dizelei vnedorozhnoi tekhniki / V.V. Efros, P.V. Gorbunov // Izv. vuzov. Mashinostroenie. – 2007. – No. 8. – S. 25-27.
12. Dizeli tipa D6 dlia statsionarnykh i peredvizhnykh ustanovok: rukovodstvo po ekspluatatsii. – Barnaul: Tipografiia z-da «Transmash», 1986. – 233 s.
13. Rozhkov P.G. OAO «Barnaultransmash» – osnovnye napravleniia razvitiia // Dvigatelistroenie. – 1998. – No. 4. – S. 3-5.
14. Razleitsev, N.F. Modelirovanie i optimizatsiia protsessa sgoraniia v dizeliakh / N.F. Razleitsev. – Kharkov: Vysshiaia shkola, 1980. – 169 s.
15. Ladommatos, N., Abdelhalim, S., Zhao, H. (2000). The Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Combustion and Emissions. *International Journal of Engine Research*. 1. 107-126. DOI: 10.1243/1468087001545290.
16. Badamasi M., Nura M., Gali M. (2016). Diesel Engine Modification Techniques to Minimize its Exhaust Emission (Theoretical Survey). *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*. 5. 1-7.
17. GOST R ISO 11042-1-2001. Ustanovki gazoturbinye. Metody opredeleniia vybrosov vrednykh veshchestv.
18. Khazin, M.L. Ekologicheskie standarty stran mira dlia gornykh mashin i oborudovaniia / M.L. Khazin // Nedropolzovanie. – 2020. – T. 20. – No. 3. – S. 291-300.
19. Melbert A.A., Nguen Ch.Kh. Rezultaty modelirovaniia tekhnogennoi nagruzki na okruzhaiushchuiu sredu ot vrednykh vybrosov dizelei mobilnykh mashin, ispolzuemykh pri provedenii selskokhoziaistvennykh rabot // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 9. – S. 101-106.

