УДК 621.43.019(088.8)

© В. П. Чмил, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Chmil_vp@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-250-253

© V. P. Chmil, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: Chmil_vp@mail.ru

РЕАКТОРНЫЙ УЧАСТОК ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛУ, И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

THE REACTOR SECTION OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OPERATING IN A CLOSED CYCLE AND THE RESULTS OF ITS PRELIMINARY STUDY

Рассматривается вновь предлагаемый реакторный участок, служащий для приготовления искусственной газовой смеси, обеспечивающей работу двигателя внутреннего сгорания по замкнутому циклу. В процессе транспортирования реагента энергией потока отработавших газов двигателя и работой вспомогательного вентилятора происходят необходимые химические реакции по получению названной смеси. В качестве сыпучего реагента использованы надперекиси и перекиси щелочных металлов. Полученные твердые продукты реакций отделяют от газового потока и отводят, а искусственную газовую смесь охлаждают до 60...80 °С, удаляют из нее избыточную влагу и подают на выпуск двигателя.

Ключевые слова: силовая установка, двигатель внутреннего сгорания, сыпучий реагент, отработавшие газы, искусственная газовая смесь, продукты реакции.

The paper considers the newly proposed reactor section of the internal combustion engine serving for the preparation of artificial gas mixture providing the operation of the engine in a closed cycle. In the process of transportation of the reagent by the energy of the dilute exhaust gas flow and the operation of the auxiliary fan, there take place necessary chemical reactions to obtain the artificial gas mixture. As a bulk reagent, alkali metal superoxides and peroxides are used. The solid reaction products obtained get separated from the gas flow and drawn off, and the artificial gas mixture is cooled to 60...80 °C, excess moisture is removed from it and fed to the engine intake.

Keywords: power plant, internal combustion engine, bulk reagent, exhaust gases, artificial gas mixture, reaction products.

Рассматриваемая силовая установка реализует работу двигателя внутреннего сгорания (ДВС) по замкнутому циклу и может быть применена на резервных дизель-электрических станциях метрополитена, на объектах гражданской защиты и других подобных объектах. Реакторный участок данной установки служит для приготовления искусственной газовой смеси (ИГС) в стехиометрическом количестве для обеспечения работы ДВС на различных режимах. В качестве реагента использованы надперекиси и перекиси щелочных металлов.

Изображенная на рис. 1 функциональная схема такой установки предложена в результате проведенного анализа патентной информации [1–3].

Напорный участок 6 выпускного трубопровода соединен с транспортирующим механизмом 7 [4], расположенным под питателем 10 сыпучего реагента. Выход транспортирующего механизма 7 подсоединен к входу объемного разгрузителя 12 через реакторный участок 11 выпускного трубопровода ДВС. Верхний выход разгрузителя 12 подключен к встроенному в центробежный отделитель 13 вспомогательному вентилятору 14 (например, пылевому), нагнетательный патрубок которого соединен с обратной линией 15, снабженной участком увеличенного диаметра 16. Другой конец линии 15 соединен с охладителем-конденсатором 17, подключенным к впускному трубопроводу двигателя 1.

Рис. 1. Функциональная схема силовой установки с ДВС, работающим по замкнутому циклу: 1 — двигатель внутреннего сгорания; 2 — генератор; 3 — жидкостный насос; 4 — радиатор; 5 — газовая турбина; 6 — напорный участок выпускного трубопровода; 7 — пневматический транспортирующий механизм; 8 и 9 — передняя и задняя поворотные заслонки; 10 — питатель; 11 — реакторный участок; 12 — объемный разгрузитель; 13 — центробежный отделитель; 14 — вспомогательный вентилятор; 15 — обратная линия; 16 — участок увеличенного диаметра; 17 — охладитель-конденсатор; 18 — накопитель продуктов реакций; 19 — блок контрольно-измерительных приборов; 20 — линия подвода сжатого воздуха; 21 — вентиль

На рис. 2 изображены графики зависимости статического $H_{ст}$ и динамического $H_{д}$ напоров газа от его расхода Q в напорном участке трубопровода опытной установки с замкнутым циклом без подачи сыпучего реагента.

На рис. 3 приведены графики изменения статического напора $H_{ст.м}$ по длине экспериментальной установки при подаче сыпучего реагента.

Создаваемый вентилятором 14 перепад давлений компенсирует аэродинамическое сопротивление установки, обеспечивая поддержание в трубопроводе реакторного участка 11 необходимого разрежения, величина которого достаточна для устойчивого транспортирования реагента и продуктов реакций.

Участок увеличенного расчетного диаметра 16 обратной линии 15 повышает площадь поверхности теплоотвода в окружающую среду, снижая температуру поступающей в двигатель ИГС. Дальнейшее охлаждение приготовленной ИГС до температуры 60...80 °С, а также удаление

из газовой смеси избыточной влаги осуществляется охладителем-конденсатором 17.

При пневматическом транспортировании температуру смеси реагента и отработавших газов (ОГ) двигателя поддерживают не менее 100 °С, то есть осуществляют температурные условия нейтрализации токсичных компонентов и связывания двуокиси углерода CO_2 из состава ОГ. Полученные твердые продукты реакций отделяют в объемном разгрузителе 12 и центробежном отделителе 13 (циклоне) и отводят в накопитель 18 для периодического удаления.

Потери давления, Па, на разгон реагента при его загрузке в трубопровод [5, 6]:

$$\Delta P_{разг} = \zeta_{разг} \mu \rho_r V_r^2 / 2,$$

где $\zeta_{разг}$ — коэффициент сопротивления участка разгона реагента; μ — относительная концентрация реагента в смеси, кг материала/кг газа; ρ_r — плотность газа (зависит от температуры), кг/м³; V_r — скорость газа в реакторном участке, м/с.

Потери давления, Па, на преодоление сопротивления при перемещении смеси на горизонтальной части реакторного участка [6]:

$$\Delta P_{\mu} = (\lambda \frac{L}{d} + \xi) \frac{V_r^2 \rho_r}{2} (1 + K\mu),$$

Рис. 2. Графики зависимости статического $H_{ст}$ и динамического $H_{д}$ напоров газа от его расхода Q в напорном участке трубопровода опытной установки с замкнутым циклом газа (до подачи сыпучего реагента): 1 и 2 — статический и динамический напоры газа

Рис. 3. Графики изменения статического напора $H_{ст}$ (1 и 2 — минимальные и максимальные значения) по длине установки (измерительные точки 1...10) при подаче сыпучего реагента

где λ — коэффициент сопротивления трубопровода; L — длина трубопровода, м; d — внутренний диаметр трубопровода, м; ξ — коэффициент местного сопротивления фасонных частей; K — опытный коэффициент дополнительных потерь.

На рис. 4 рассмотрены зависимости изменения коэффициентов дополнительных потерь, полученных опытным (K_3) и аналитическим (K_a) путем, от относительной концентрации μ сыпучего реагента в транспортируемой смеси [7].

Потери давления, Па, при перемещении смеси по вертикальной части реакторного участка определяются по формуле

$$\Delta P_{\mu \text{ верт.}} = H \rho_{см} g \mu,$$

где H — высота подъема смеси, м; $\rho_{см}$ — плотность смеси, $\rho_{см} = \rho_r(1 + \mu)$, кг/м³; g — ускорение силы тяжести, 9,81 м/с².

Потери давления, Па, в отделителе (разгрузителе) продуктов реакций:

$$\Delta P_{отд} = \zeta_{отд} \rho_{см} V_{отд}^2 / 2,$$

где $\zeta_{отд}$ — коэффициент местного сопротивления отделителя; $V_{отд}$ — скорость газа на входе в отделитель, м/с.

Потери давления, Па, в обратной линии установки при подаче искусственной газовой смеси во впускной трубопровод двигателя:

$$\Delta P_o = (\lambda_o \frac{L_o}{d_o} + \xi_o) \frac{V_{г.о}^2 \rho_{г.о}}{2},$$

где λ_o — коэффициент сопротивления обратной линии; L_o — длина обратной линии, м; d_o — внутренний диаметр обратной линии, м; ξ_o — коэф-

фициент местного сопротивления фасонных частей; $V_{г.о}$ — скорость газа в обратной линии, м/с; $\rho_{г.о}$ — плотность газа в обратной линии, кг/м³.

Удаляют твердые продукты реакций из разгрузителя 12 и циклона 13 в накопитель 18 продуктов реакций, снабженный, например, установкой для их непрерывного пневмотранспорта [8] к месту хранения, на склад.

Выполнение работающего под разрежением реакторного участка расчетной длины в зависимости от его внутреннего диаметра и скорости химических реакций обеспечивает прохождение необходимых реакций с учетом скорости пневматического транспортирования реагента и продуктов реакций.

Использование разрежения в реакторном участке установки исключает выброс частиц реагентов и продуктов реакций в окружающую среду, что улучшает экологичность процесса и условия работы обслуживающего персонала.

Применение двухступенчатой схемы отделения твердых частиц от газа (разгрузитель и центробежный отделитель) улучшает степень очистки газа от продуктов реакций. Снабжение

Рис. 4. Графики зависимости коэффициентов дополнительных потерь, полученных опытным (K_3) и аналитическим (K_a) путем, от относительной концентрации μ реагента в смеси

центробежного отделителя встроенным вентилятором обеспечивает работоспособность установки на различных режимах, а также продувку и очистку пневмотранспортной системы при обслуживании.

В реакторном участке при подаче реагента периодически происходит реакция горения осевших на внутренней поверхности частиц неполного сгорания топлива (сажи), что является положительным явлением с точки зрения «самоочистки» названных поверхностей в процессе эксплуатации силовой установки.

Библиографический список

1. Патент СССР № 3884066/31-06, 15.04.1985. Дружинин П. В., Дыбок В. В., Сергачев С. Н., Плешков В. В. Способ работы силовой установки с двигателем внутреннего сгорания // Патент СССР № 1270387. 1986. Бюл. № 42.
2. Патент СССР № 4314410/25-06, 09.10.1987. Дыбок В. В., Рудавский Ф. Н., Тюпаев К. К., Шварцман Б. А., Шпилевой В. И. Дизельный двигатель с замкнутым газовым трактом // Патент СССР № 1537853. 1990. Бюл. № 3.
3. Патент РФ № 94001218/06, 12.01.1994. Сайданов В. О., Дыбок В. В. Способ работы двигателя внутреннего сгорания по замкнутому циклу // Патент России № 2086781. 1997.
4. Патент РФ № 2009143159/11, 23.11.2009. Чмил В. П., Чмил Ю. В. Пневматический транспортирующий механизм для сыпучих материалов // Патент России № 2429183. 2011. Бюл. № 26.
5. Евтюков С. А., Шапунов М. М. Пневмотранспортное оборудование в строительной индустрии и строительстве. СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2005. С. 301–302.
6. Чмил В. П. Основы расчета экологичного пневмотранспортирования сыпучих материалов // Строительные и дорожные машины. 2012. № 3. С. 29–32.
7. Чмил В. П. Исследование замкнутой вентиляторной пневмотранспортной установки // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 240–245.
8. Патент РФ № 2007133262/11, 04.09.2007. Чмил В. П., Чмил Ю. В. Установка для непрерывного пневмотранспорта сыпучих материалов // Патент России № 2356819. 2009. Бюл. № 15.

References

1. Druzhinin P. V., Dybok V. V., Sergachev S. N., Pleshkov V. V. *Sposob raboty silovoy ustanovki s dvigatelem vnutrennego sgoraniya* [The mode of work of the power plant with the internal combustion engine]. Patent USSR no. 1270387, Bulletin no. 42, 1986.
2. Dybok V. V., Rudavskiy F. N., Tyupaev K. K., Shvartsman B. A. *Dizel'nyy dvigatel' s zamknutym gazovym traktom* [Diesel engine with the closed gas path]. Patent USSR no. 1537853, Bulletin no. 3, 1990.
3. Saydanov V. O., Dybok V. V. *Sposob raboty dvigatelya vnutrennego sgoraniya po zamknutomu tsiklu* [The mode of work of the internal combustion engine on the closed cycle]. Patent RF no. 2086781, 1997.
4. Chmil' V. P., Chmil' Yu. V. *Pnevmaticheskiy transportiruyushchiy mekhanizm dlya sypuchikh materialov* [Pneumatic transporting mechanism for bulk materials]. Patent RF no. 2429183, Bulletin no. 26, 2011.
5. Evtyukov S. A., Shapunov M. M. *Pnevmotransportnoye oborudovanie v stroitel'noy industrii i stroitel'stve* [Pneumatic transport equipment in the construction industry and construction]. St. Petersburg, DNK Publ., 2005, pp. 301–302.
6. Chmil' V. P. *Osnovy rascheta ehkologichnogo pnevmotransportirovaniya sypuchikh materialov* [Basics of calculation of eco-friendly pneumatic transportation of bulk materials]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny – Construction and road machines*, 2012, no. 3, pp. 29–32.
7. Chmil' V. P. *Issledovanie zamknutoy ventilyatornoy pnevmotransportnoy ustanovki* [Research of the closed pneumatic-transport installation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 240–245.
8. Chmil' V. P., Chmil' Yu. V. *Ustanovka dlya nepreryvnogo pnevmotransporta sypuchikh materialov* [Installation for continuous pneumatic transportation of bulk materials]. Patent RF no. 2356819, Bulletin no. 15, 2009.