

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВЫПУСКНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Грабец М.П., Гундарев К.А.*

*Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), Челябинск*

**Ключевые слова:** выпускной коллектор, высокофорсированный дизель, выпускной коллектор с водяным охлаждением, выпускные газы, сильфонный компенсатор, ребра жесткости, теплоотдача, тепловая нагрузка, коробление фланцев.

**Аннотация.** В статье рассмотрены и проанализированы конструкции выпускных коллекторов с целью возможного применения для высокофорсированных дизелей: цельные выпускные коллекторы, выпускной коллектор V-образного двигателя, выпускной коллектор дизельного двигателя с наддувом, выпускной коллектор с водяным охлаждением. Выявлены относительные недостатки рассмотренных выпускных коллекторов, основными из которых являются перемещение фланцев по плоскости крепления при нагреве, увеличение вибрации системы при использовании коллектора с двумя и более отдельными фланцами, утечка выпускных газов через компенсаторы, коробление фланцев и большая тепловая нагрузка на систему охлаждения двигателя.

## ANALYSIS OF THE POSSIBLE APPLICATION OF EXHAUST MANIFOLD DESIGNS FOR HIGH-PERFORMANCE DIESEL ENGINES

*Grabets M.P., Gundarev K.A.*

*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk*

**Keywords:** exhaust manifold, high-performance diesel, water-cooled exhaust manifold, exhaust gases, bellows compensator, stiffeners, heat dissipation, thermal load, flange warping.

**Abstract.** The article discusses and analyzes the designs of exhaust manifolds for the purpose of possible application for high-performance diesel engines: one-piece exhaust manifolds, exhaust manifold of a V-shaped engine, exhaust manifold of a supercharged diesel engine, water-cooled exhaust manifold. The relative disadvantages of the considered exhaust manifolds have been identified, the main of which are the movement of the flanges along the mounting plane when heated, an increase in system vibration when using a manifold with two or more separate flanges, leakage of exhaust gases through compensators, warping of the flanges and a large thermal load on the engine cooling system.

### 1. Введение

Высокофорсированный дизель представляет сложную техническую систему, в которой одно из основных значений занимает процесс впуска и выпуска топливовоздушной смеси.

Система впуска и выпуска служит для подвода свежего заряда (воздуха или горючей смеси) к цилиндрам двигателя и отвода из них выпускных газов [1]. Выпускные газы на выходе из цилиндра высокофорсированного дизеля обладают достаточно высокой работоспособностью, которая реализуется в виде работы или теплоты, расходуемой на бытовые и технологические нужды [2]. Необходимо подробнее рассмотреть назначение и конструкцию выпускных коллекторов дизелей транспортных средств.

Выпускной коллектор служит для сбора выпускных газов из многих цилиндров в один трубопровод [3], а также способствует уменьшению сопротивления потоку выпускных газов, изменению дополнительной мощности, синхронизации пульсаций потока выпускных газов с волновым процессом во впускном коллекторе, разряжению среды (перепаду давлений) после прохождения волны выпускных газов, более эффективной вентиляции цилиндров и оптимальному их наполнению топливовоздушной смесью, влияет на теплоотдачу высокофорсированного дизеля в охлаждающую жидкость.

## 2. Обзор и анализ выпускных коллекторов

С целью возможного применения конструкций выпускных коллекторов для высокофорсированных дизелей были рассмотрены различные конструкции выпускных коллекторов и выявлены их недостатки.

### 2.1. Цельные выпускные коллекторы

Цельные выпускные коллекторы представляют единую деталь, отлитую из серого или жаростойкого чугуна. На рисунке 1 показан цельный выпускной коллектор [4], имеющий короткие каналы, объединенные в общую камеру. В работах С. Джонсона, Э.Б. Демотса, Р.Э. Уэйда, М.Д. Кейда [5], С.А. Sloss [6], М.В. Dirker [7], N.E. Rodenkirch [8], Е.А. Ruehle [9] представлены различные конструкции цельнолитых выпускных коллекторов легковых автомобилей зарубежного производства.

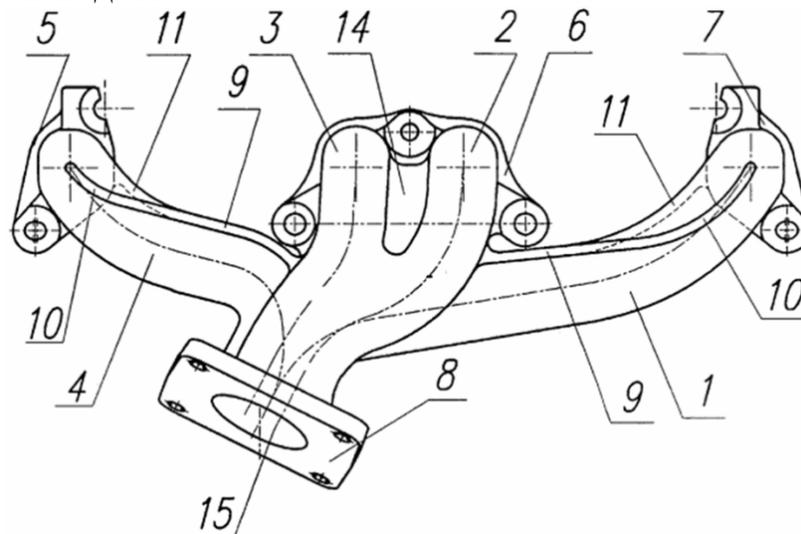


Рис. 1. выпускной коллектор двигателя внутреннего сгорания:

1, 2, 3, 4 – трубопроводы 1, 2, 3, 4 цилиндров соответственно; 5, 6, 7 – фланцы крепления к головке блока цилиндров; 8 – общий фланец крепления нейтрализатора; 9, 10, 11, 12, 13, 14 – ребра жесткости определенного сечения; 15 – отверстие общего фланца крепления нейтрализатора

Общими недостатками являются: низкая эффективность отвода выпускных газов и газообмена в камерах сгорания при большом объеме потоков и на высоких оборотах, использование крутящего момента на преодоление сопротивления потоку при волновых импульсах, создаваемых выпускными газами от каждого цилиндра; изменение геометрии патрубков газопроводов вследствие тепловых линейных расширений в зоне высоких температур при отсутствии ребер жесткости; перемещение фланцев по плоскости крепления при

нагреве; повышенные усилия перемещения на элементы крепления выпускного коллектора; увеличение вибрации системы при использовании коллектора с двумя и более отдельными фланцами; повышенное коробление; нарушение герметичности выпускного канала; высокая вероятность образования трещин.

## 2.2. Выпускной коллектор V-образного двигателя

Выпускной коллектор [10] V-образного восьмицилиндрового четырехтактного двигателя 8ЧН26/26 с системой наддува постоянного давления представлен на рисунке 2.

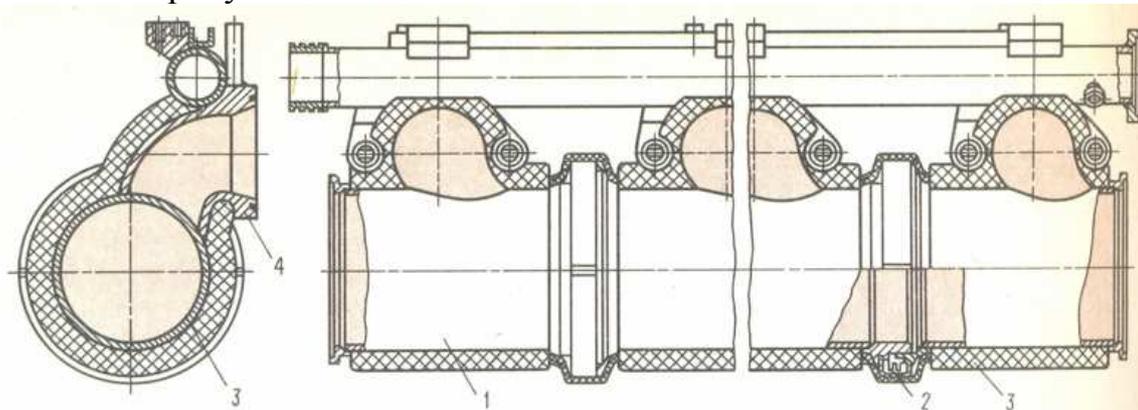


Рис. 2. Выпускной коллектор одного из блоков V-образного восьмицилиндрового четырехтактного двигателя 8ЧН26/26 с системой наддува постоянного давления:  
1 – цилиндрическая обечайка; 2 – сильфонный компенсатор; 3 – изоляция;  
4 – патрубок

Недостатками с точки зрения надежности выступают: утечка выпускных газов через компенсаторы; боковое скольжение фланцев при вибрационной нагрузке. Возможна разгерметизация выпускного коллектора путем утечки выпускных газов через модульные импульсные соединительные элементы [11] и сегментные соединения [11], что приводит к уменьшению объема и скорости выпускных газов в коллекторе.

В работе М.С. Курина и А.С. Шорникова [13] выявлено, что вследствие повышения давления в выпускном коллекторе относительно цилиндра отработавшие выпускные газы из коллектора могут попадать в цилиндр, ухудшая протекание рабочего процесса и снижая технико-экономические показатели двигателя.

В работе Г.М. Савельева, Б.Ф. Лямцева и Е.П. Слабова [14] рассмотрен выпускной коллектор дизельного двигателя с наддувом ЯМЗ-238ПМ (рис. 3,а) и ЯМЗ-238Б (рис. 3,в).

Недостатками являются ослабление крепления выпускного коллектора из-за вибрации и переменной по времени температуры выпускных газов; коробление фланцев; нарушение плоскостности привалочной поверхности фланцев; разгерметизация системы наддува; мгновенное падение давления наддува; уменьшение весового наполнения цилиндров воздухом; повышение температуры газов в цилиндре и выпускном коллекторе; повышение термической напряженности деталей цилиндропоршневой группы и турбокомпрессора; заклинивание подвижного соединения коллекторов при высокой температуре выпускных газов.

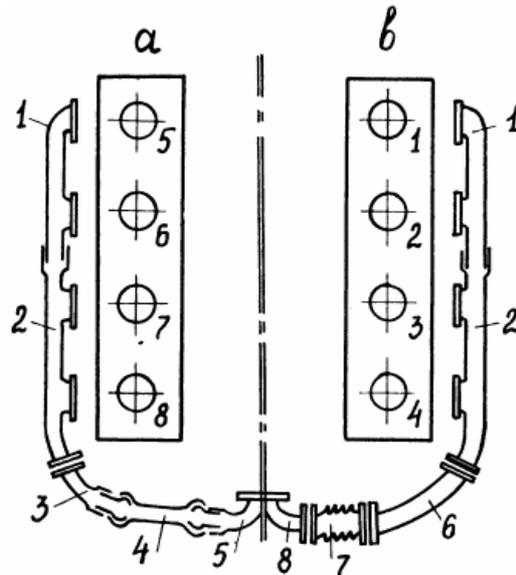


Рис. 3. Схема выпускной системы дизеля ЯМЗ-238 ПМ (а) и 238Б (в): 1 – передний коллектор; 2 – задний коллектор; 3, 5, 6, 8 – патрубков; 4 – компенсатор; 7 – сиффон

### 2.3. Выпускной коллектор с водяным охлаждением

В работе W. Petutschnig, K. Kirchweiger, R. Stefansson и B. Andersson [15] рассмотрен выпускной коллектор с водяным охлаждением (рис. 4), которое обеспечивается охлаждающей рубашкой, охватывающей воздушную защитную часть между рубашкой охлаждения и выпускными трубами, выполненную с возможностью уменьшения теплопередачи между охлаждающей жидкостью и выпускными газами.

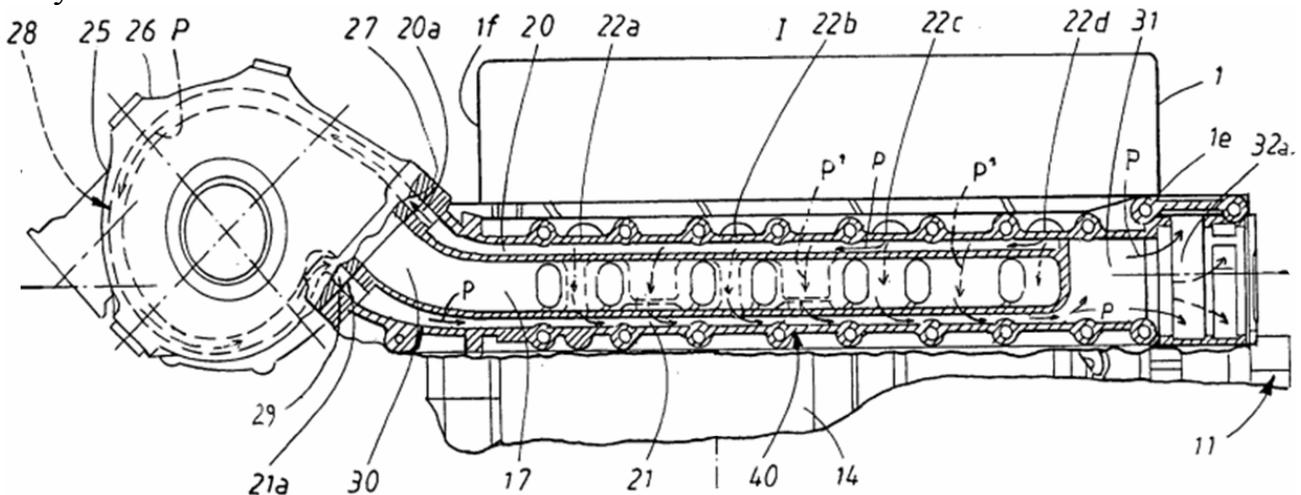


Рис. 4. Выпускной коллектор двигателя с турбонаддувом водяного охлаждения:

P – основной поток охлаждающей жидкости в первом канале; P<sup>1</sup> – вторичный управляемый поток охлаждающей жидкости; 1 – головка блока цилиндров; 1e, 1f – передняя и торцевая поверхности блока цилиндров соответственно; 11 – двигатель; 14 – блок цилиндров; 17 – выпускной коллектор; 20, 21 – впускной и выпускной каналы охлаждающей жидкости соответственно; 20a – выпускное отверстие впускного канала; 21a – впускное отверстие выпускного канала; 22a-22d – впускные отверстия впускного канала; 25 – турбинная часть турбокомпрессора; 26 – турбокомпрессор с водяным охлаждением; 27 – выпускное отверстие выпускного канала; 28 – камера охлаждающей жидкости; 29 – выпуск охлаждающей жидкости; 31, 30 – начало и окончание выпускного коллектора соответственно; 32a – пространство термостата; 40 – выпускной коллектор в сборе

Подобная конструкция показана в работе R.P. Maloney, V.B. Sheth, L.D. Kress и R.J. Henry [16], отличающаяся высокотемпературным уплотнением между воздушной и жидкостной термозащитными секциями.

Недостатками выпускных коллекторов с жидкостным охлаждением являются: большая тепловая нагрузка на систему охлаждения двигателя, сложность конструкции; снижение температуры выхлопных газов; уменьшение энергии, подаваемой в турбоагрегат (газовую турбину).

### 3. Выводы

– рассмотрены и проанализированы конструкции выпускных коллекторов с целью возможного применения для высокофорсированных дизелей;

– у рассмотренных выпускных коллекторов происходит дополнительная потеря энергии выпускных газов за счет вторичных течений потока газа на криволинейных участках трубопровода, так как на их образование затрачивается часть кинетической энергии потока;

– с учетом особенностей высокофорсированных дизелей к выпускным коллекторам таких двигателей должны применяться высокие требования по вибрационной нагрузке, температурным режимам и давлению выпускных газов.

### Список литературы

1. Алексеев В.П., Воронин В.Ф., Грехов Л.В. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. учебное издание / под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова, – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 289 с.
2. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова, – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
3. Sadhasivam S., Murugan S., Vairamuthu J., Design S. and analysis of two-cylinder exhaust manifold with improved performance in CFD / Mohana Priyadharshini // Materials Today: Proceedings. 2020, vol. 37, pp. 2141–2144.
4. Патент №151680 РФ. Выпускной коллектор двигателя внутреннего сгорания / Е.Б. Березин. – Заявка №2014114926/06 от 14.04.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.
5. Патент №2606461 РФ. Выпускной коллектор для двигателя / С. Джонсон, Э.Б. Демотс, Р.Э. Уэйд, М.Д. Кейд. – Заявка №2012139192 от 13.09.2012; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
6. Patent US 8 650 867 B2, Int. Cl. F01N13/10 (2010.01). Exhaust manifolds including heat shield assemblies / C.A. Sloss. – Appl. No. 12/304,325 from 13.06.2007; publ. 18.02.2014.
7. Application EP 1 626 165 A1, Int. Cl. F01N 7/10 (2006.01), F01N 7/18 (2006.01). Power system exhaust manifold M.W. Dirker. – №05012619.2; fil. 13.06.2005; publ. 15.02.2006, Bul. 2006/07; priority 12.08.2004, № US 916416.
8. Patent No. 5 860 278 US, Int. Cl. F02B 27/02. Apparatus and method for providing a compact low pressure drop exhaust manifold / N.E. Rodenkirch. – Appl. No. 772,294 from 23.12.1996, publ. 19.01.1999.
9. Patent US 7 171 805 B2, Int. Cl. F01N 7/10 (2006.01). Deflector style exhaust manifold / E.A. Ruehle. – Appl. No. 11/110,521; from 20.04.2005, publ. 06.02.2007.
10. Ефимов С.И., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова, – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

11. Patent US 8 555 638 B2, Int. Cl. F02B 33/44 (2006.01). Internal combustion engine with improved exhaust manifold / A. Luft, L. Stanciu, C. Tiru, J. Byrd. – Appl. No. 13/086,798; from 14.04.2014, publ. 15.10.2013.
12. Patent US 6 193 280 B1, Int. Cl. F16L 25/12. Exhaust connector assembly and kit for a segmented exhaust manifold / A.P. Bock. – Appl. No. 09/416,440; from 12.10.1999, publ. 27.02.2001.
13. Курин М.С., Шорников А.С. Исследование течений отработавших газов в выпускном коллекторе 8-и цилиндровых двигателей семейства ЯМЗ-840 // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. – 2014. – Т. 2. – С. 278-282.
14. Савельев Г.М., Лямцев Б.Ф., Слабов Е.П. Повышение эксплуатационной надежности автомобильных дизелей ЯМЗ с наддувом: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 96 с.
15. Patent EP 1 498 587 B1, Int. Cl. F01N 3/04 (2006.01). Exhaust manifold and internal combustion engine comprising an exhaust manifold / W. Petutschnig, K. Kirchweger, R. Stefansson, B. Andersson. – Appl. No. 03076916.0; from 19.06.2003, publ. 19.01.2005, Bul. No. 2005/03.
16. Application US 2015/0247442 A1, Int. Cl. F01N 13/10 (2006.01). High temperature seal for exhaust manifold / R.P. Maloney, V.B. Sheth, L.D. Kress, R.J. Henry. – Appl. No. 14/193,055; from 28.02.2014, publ. 03.09.2015.

Сведения об авторах:

*Грабец Максим Петрович* – научный сотрудник.

*Гундарев Кирилл Александрович* – аспирант, инженер.