

Манойло В.М.

Харківський національний
технічний університет
сізького господарства
імені Петра Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: vladimir.m.manoylo@gmail.com

**МОДЕЛЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ТЕЧЕНИЯ ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В
ГОРЛОВИНЕ ДИФFUЗОРА СМЕСИТЕЛЯ
СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ
АВТОТРАКТОРНОГО ДВС**

УДК 621.433.2

Предложена математическая модель процесса течения газовой смеси, проходящей через суженную горловину диффузора смесителя, позволяющая оценить негативное влияние дополнительного аэродинамического сопротивления, возникающего во впускном тракте ДВС, которое влияет на тягово-скоростные характеристики транспортных средств.

Ключевые слова: модель регулирования, диффузор смесителя, газоздушная смесь, аэродинамическое сопротивление.

Введение. В настоящее время в странах СНГ эксплуатируется, достаточно большое количество автотранспортных средств, оборудованных серийно выпускаемым газобаллонным оборудованием (ГБО) второго поколения. Основными узлами системы питания ДВС такого оборудования являются газовый редуктор низкого давления, работающий в сочетании с диффузором смесителя.

Анализ последних достижений и публикаций. Особое внимание диффузорным устройствам (узлам) уделено в работах, имеющих связь с тепловой автоматикой, авиационной и комической техникой [1–2]. Диффузоры смесителей (ДС) систем питания, адаптированные к транспортным ДВС, изготавливаются в достаточно разнообразном и простом конструктивном исполнении. Отличаются ДС между собой функциональными возможностями, и практически ничего общего не имеют со сложнейшими диффузорными узлами, приведенными в работе [2], способными при помощи автоматики изменять проходное сечение горловины (регулируемого сопла) узла сверхзвуковых форсированных наддувом воздушно-реактивных двигателей для самолетов и военной техники.

Тем не менее, в печати модель регулирования процесса течения рабочего тела в горловине диффузора смесителя, системы топливоподачи транспортных двигателей отсутствует.

Автором предлагается такая математическая модель, с помощью которой появляется возможность численного моделирования переходных процессов, происходящих в диффузоре смесителя, возникающих в результате появления различных возмущающих воздействий, от которых зависит регулирование величины расхода рабочего тела, коэффициент наполнения и эффективность рабочего процесса ДВС.

Цель и постановка задачи. Целью настоящей работы является оценка вредного влияния дополнительного аэродинамического сопротивления создаваемого диффузором смесителя в системе питания ДВС, которое влияет на тягово-скоростные, технико-экономические и экологические характеристики транспортных средств.

Сущность математической модели. В процессе работы ДВС на установившихся режимах в диффузоре смесителя условие статического равновесия можно выразить соотношением

$$G_{\text{возд.ф}} - G_{\text{др.засл}} = 0, \quad (1)$$

где $G_{\text{возд.ф}}$ и $G_{\text{др.засл}}$ – массовые расходы воздуха, проходящие через воздушный фильтр и поворотную дроссельную заслонку, кг/с.

В случае нарушения статического равновесия дифференциальное уравнение приращения расхода газо-воздушной смеси в диффузоре смесителя можно представить следующим соотношением

$$\frac{d\Delta m_{\text{оф}}}{dt} = (\Delta G_{\text{возд.ф}} + \Delta G_{\text{возд.ф}}) - (\Delta G_{\text{др.засл}} + \Delta G_{\text{др.засл}}), \quad (2)$$

где Δ – величина отклонения (элементарного изменения) перечисленных факторов от установившегося значения в равновесном режиме.

Используя уравнение состояния для идеального газа, и выполнив упрощения, получим следующее выражение

$$\frac{V_{\text{оф}}}{R \cdot T_{\text{оф}}} \cdot \frac{d\Delta p_{\text{оф}}}{dt} = \Delta G_{\text{возд.ф}} - \Delta G_{\text{др.засл}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{оф}}$ – объем диффузора смесителя, м³; R – характеристическая газовая постоянная смеси, Дж/(кг·К); $T_{\text{оф}}$ – температура смеси в горловине диффузора, К.

Расход воздуха, проходящий через фильтр, зависит от: сопротивления $p_{\text{сопр.ф}}$ воздушного фильтра, разрежения рабочего тела в диффузоре смесителя $p_{\text{оф}}$ и угла поворота дроссельной заслонки β

$$G_{\text{возд.ф}} = f(p_{\text{сопр.ф}}, \beta, p_{\text{оф}}) \quad (4)$$

На основании этого, с учетом упрощений, запишем элементарное изменение расхода воздуха, проходящего через фильтр

$$\Delta G_{\text{возд.ф}} = \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot \Delta p_{\text{сопр.ф}} + \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta + \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial p_{\text{оф}}} \cdot \Delta p_{\text{оф}}. \quad (5)$$

Расход газо-воздушной смеси, сосредоточенный в дроссельном узле зависит от: давления $p_{\text{др.засл}}$ газо-воздушной смеси в узле, разрежения рабочего тела в диффузоре смесителя $p_{\text{оф}}$ и угла поворота дроссельной заслонки β

$$G_{\text{др.засл}} = f(p_{\text{др.засл}}, \beta, p_{\text{оф}}) \quad (6)$$

Тогда, с учетом упрощений, запишем элементарное изменение расхода газо-воздушной смеси, проходящей через дроссельный узел, в зоне размещения заслонки

$$\Delta G_{\text{др.засл}} = \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial p_{\text{др.засл}}} \cdot \Delta p_{\text{др.засл}} + \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta + \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial p_{\text{оф}}} \cdot \Delta p_{\text{оф}}. \quad (7)$$

Подставим выражения расходов, проходящих через воздушный фильтр (5) и дроссельный узел (7) в уравнение (3). Тогда дифференциальное уравнение приращения расхода газо-воздушной смеси в диффузоре смесителя можно представить в виде:

$$\frac{V_{\text{оф}}}{R \cdot T_{\text{оф}}} \cdot \frac{d\Delta p_{\text{оф}}}{dt} = \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot \Delta p_{\text{сопр.ф}} + \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta + \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial p_{\text{оф}}} \cdot \Delta p_{\text{оф}} - \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial p_{\text{др.засл}}} \cdot \Delta p_{\text{др.засл}} - \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta - \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial p_{\text{оф}}} \cdot \Delta p_{\text{оф}}. \quad (8)$$

Выразим значения $\Delta p_{\text{др.засл}}$, $\Delta p_{\text{оф}}$, $\Delta \beta$ и $\Delta p_{\text{сопр.ф}}$ через относительные координаты

$$\frac{\Delta p_{\text{др.засл}}}{p_{0\text{др.засл}}} = \frac{\Delta p_{\text{др.засл}}}{p_{0\text{др.засл}}}; \quad \frac{\Delta p_{\text{оф}}}{p_{0\text{оф}}} = \frac{\Delta p_{\text{оф}}}{p_{0\text{оф}}}; \quad \frac{\Delta \beta}{\beta_0} = \frac{\Delta \beta}{\beta_0}; \quad \frac{\Delta p_{\text{сопр.ф}}}{p_{0\text{сопр.ф}}} = \frac{\Delta p_{\text{сопр.ф}}}{p_{0\text{сопр.ф}}}, \quad (9)$$

где $\frac{\Delta p_{\text{др.засл}}}{p_{0\text{др.засл}}}$ – безразмерное изменение разрежение смеси перед поворотной заслонкой; $\frac{\Delta p_{\text{оф}}}{p_{0\text{оф}}}$ – безразмерное изменение давления смеси в самом узком сечении диффузора смесителя; $\frac{\Delta \beta}{\beta_0}$ – безразмерное изменение угла поворота дроссельной заслонки; $\frac{\Delta p_{\text{сопр.ф}}}{p_{0\text{сопр.ф}}}$ – безразмерное изменение сопротивления воздуха в фильтрующем элементе воздушного фильтра.

Фактор устойчивости диффузора смесителя запишем соотношением

$$F_{\text{дф.см}} = \frac{\partial G_{\text{засл}} - \partial G_{\text{ф}}}{\partial p_{\text{дф}}} \quad (10)$$

Выразим дифференциальное уравнение приращения расхода газо-воздушной смеси в диффузоре смесителя, используя значения относительных координат (19) и фактора устойчивости (20), тогда получим

$$\frac{V_{\text{дф}} \cdot P_{0\text{дф}}}{R \cdot T_{\text{дф}}} \cdot \frac{d \overline{p_{\text{дф}}}}{dt} + F_{\text{дф.см}} \cdot \overline{p_{\text{дф}}} \cdot \overline{P_{0\text{дф}}} = \frac{\partial G_{\text{возд.ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot \overline{P_{\text{сопр.ф}}} \cdot \overline{P_{0\text{сопр.ф}}} + \left[\frac{\partial G_{\text{возд.ф}} - \partial G_{\text{др.засл}}}{\partial \beta} \right] \cdot \overline{\beta} \cdot \overline{\beta}_0 - \frac{\partial G_{\text{др.засл}}}{\partial p_{\text{др.засл}}} \cdot \overline{P_{\text{др.засл}}} \cdot \overline{P_{0\text{др.засл}}} \quad (11)$$

После преобразований и деления всех составляющих на третий член уравнения получим

$$T_{\text{дф.см}} \cdot \frac{d \overline{p_{\text{дф}}}}{dt} + K_{\text{дф.см}} \cdot \overline{p_{\text{дф}}} = \overline{p_{\text{сопр.ф}}} + Q_{\text{засл}} \cdot \overline{\beta} + Q_{\text{р.з}} \cdot \overline{P_{\text{др.засл}}} \quad (12)$$

Полученное выражение, является дифференциальным уравнением приращения расхода газо-воздушной смеси в диффузоре смесителя, представлено в безразмерных координатах.

Где, время диффузора смесителя

$$T_{\text{дф.см}} = \frac{\frac{V_{\text{ф}} \cdot P_{0\text{дф}}}{R \cdot T_{\text{дф}}}}{\frac{\partial G_{\text{ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot P_{0\text{сопр.ф}}} \quad \text{— характеризует инерционность потока смеси в диффузоре}$$

смесителя.

Коэффициент самовыравнивания диффузора смесителя

$$K_{\text{дф.см}} = \frac{F_{\text{дф.см}} \cdot P_{0\text{дф}}}{\frac{\partial G_{\text{ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot P_{0\text{сопр.ф}}} \quad \text{— характеризует способность диффузора смесителя}$$

поддерживать заданный равновесный режим.

Коэффициенты усиления по изменению угла поворота дроссельной заслонки и давления рабочего тела перед ней

$$Q_{\text{засл}} = \frac{\left(\frac{\partial G_{\text{ф}} - \partial G_{\text{засл}}}{\partial \beta} \right) \cdot \overline{\beta}_0}{\frac{\partial G_{\text{ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot P_{0\text{сопр.ф}}} \quad \text{и} \quad Q_{\text{р.з}} = \frac{\frac{\partial G_{\text{засл}}}{\partial p_{\text{засл}}} \cdot P_{0\text{засл}}}{\frac{\partial G_{\text{ф}}}{\partial p_{\text{сопр.ф}}} \cdot P_{0\text{сопр.ф}}} \quad \text{— характеризуют эффективность воздей-$$

ствия на диффузор смесителя изменения углового положения дроссельной заслонки и давления рабочего тела перед заслонкой.

В операторной форме записи, уравнение (12) приращения расхода газо-воздушной смеси в диффузоре смесителя представим следующим выражением

$$(T_{\text{дф.см}} \cdot p + K_{\text{дф.см}}) \cdot \overline{p_{\text{дф}}} = \overline{p_{\text{сопр.ф}}} + Q_{\text{засл}} \cdot \overline{\beta} + Q_{\text{р.з}} \cdot \overline{P_{\text{др.засл}}} \quad (13)$$

Где двучлен в скобках, взятый из выражения (13)

$$d_{\text{дф.см}}(p) = T_{\text{дф.см}} \cdot p + K_{\text{дф.см}} \quad (14)$$

является собственным оператором диффузора смесителя.

Упрощенное изображение структурной схемы диффузора смесителя приведено на рис. 1.

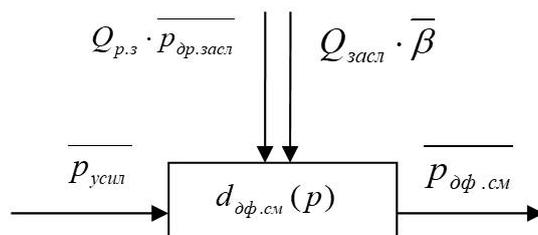


Рис. 1 – Упрощенное изображение структурной схемы диффузора смесителя, системы подачи газа в ДВС

Выводы

1. Полученное ДУ, описывает динамические свойства движения потока рабочей смеси в горловине диффузора смесителя, системы подачи газа в ДВС транспортных средств, позволяет сформировать и реализовать математические модели исследуемого объекта.

2. Получено, линейное неоднородное ДУ 1-го порядка с постоянными коэффициентами, которое можно использовать для разработки и реализации математических моделей многоконтурных систем топливоподачи.

Литература:

1. Первов Б.Н. Исполнительные устройства регулирования тепловыми установками / Первов Б.Н.- М-Л: Госэнергоиздат, 1952. - 232 с.
2. Шевяков А.А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. Учебник для механических и авиационных вузов. - 2-е изд. перераб. и доп. / Шевяков А.А.-М.: Машиностроение, 1965. - 548 с.
3. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебн. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп./ Колчин А.И., Демидов В.П. -М.: Высшая школа, 1980. - 400 с.
4. Герц Е.В. Пневматические приводы. М.: Машиностроение, 1968. - 359 с.
5. Ефимов С.И. ДВС: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общ. ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1985. – 456с.
6. Стефани Е.П. Сборник задач по основам автоматического регулирования теплоэнергетических процессов. Учеб. пособие для вузов / Е.П. Стефани, М.А. Панько, Г.А. Пикина. - М.Б., «Энергия», 1973.
7. Крутов В.И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания: Учебн. пособие для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
8. Брюханов Н.В. и др. Теория автоматического управления: Учебник для вузов / Под ред. Ю.М. Соломенцева. - М.: Высшая школа, 1999. - 172 с.
9. Управление техническими объектами на автомобильном транспорте: Учебн. пособие / Под ред. А.А. Мельникова. - Пенза: ПГАСА, 2000. - 341 с.
10. Буралев Ю.В. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей: Учебн. для сред. ПТУ / Буралев Ю.В., Мартынов О.А., Клевников Е.В. 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк., 1987. - 288 с.
11. Мельников А.А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов: Учебн. пособие для студ. высш. учебн. заведений / А.А. Мельников. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. -280 с.
12. Макаров А.Н. Расчет дроссельных устройств: Справочник / А.Н. Макаров, М.Я. Шерман. - М.: Металлургиздат, 1953. - 284 с.

Summary

V. Manoilo Model of regulation of the gas-air mixture current process in the hydrogen of the mixer diffuser, fuel supply system of the autotractor engine

A mathematical model of the flow of a gas-air mixture passing through the narrowed neck of the diffuser of a mixer is proposed, which makes it possible to estimate the negative effect of the additional aerodynamic resistance that arises in the intake duct of the internal combustion engine, which affects the traction and speed characteristics of vehicles.

Keywords: control model, mixer diffuser, gas-air mixture, aerodynamic resistance.

References

1. B. Pervov. Performing devices for heat units' control. M – L: “Goseneroizdat”. -1952. 232 p.
2. A. Sheviakov. Automatics of aircraft and rocket power units. Manual for engineer-ing and aviation higher educational institutions. Volume 2, improved and supplemented. M.: Technical Engineering. – 1965, 548 p.
3. A. Kolchin. Desigh of vehicle and tractor engines: Manual for higher educational institutions. Volume 2, improved and supplemented / A. Kolchin, V. Demidov. - M.: “Vysshaya School”. - 1980.- 400 p.
4. Ye. Herts. Pneumatic actuators. M.: Mechanical Engineering, - 1968, p. 369.
5. S. Efimov. ICE: Systems of piston and combined engines. Manual for higher edu-cational institutions on specialby “Rnternal Combution Engines:/ S. Efimov, N. Ivaschenko, V. Ivin and ofhers.; under collective edition of A. Orlin and M. Kruglov. Volume 3, im-proved and supplemented. M.: Technical Engineering. – 1985. 456 p.
6. Ye. Stefani. Collection of problems on automatic regulation of heat energy process-es. Manual for higher educational institutions / Ye. Stefani, M. Panko, G. Pikina. M.: “Ener-gia”, 1973.
7. V. Krutov. Collection of problems on automatic regulation of internal combustion engines: Man-ual for student of higher educational institutions on specialty “Internal Combustion Engines”. Volume 2, improved and supplemented. M.: Technical Engineering. – 1990. 320 p.
8. N. Briukhanov and others. The theory of automatic control: manual for higher edu-cational institutions / under edition of Yu. Solomentseva. M.: Higher School, 1999.172 p.
9. Control of technical objects of automatic transport: Manual / under edition of A. Melnu-kova. Penza: PSASA, 2000.- 341 p.
10. Yu. Buralev others. Outline, maintenance and repair of fuel supply of devices of vehicles: Manual for secondapy vocational schools / Yu. Buralev, O. Martynov, Ye. Klevnikov, Vol-ume 3, improved and supplemented. M.: Higher School, 1987.- 288 p.
11. A. Melnikov. The theory of automatic control of technical objects of automobiles and trac-tors: Manual for student of higher educational institutions / A. Melnikov. - M.: - Editorial Center “Akademia”, 2003.- 280 p.
12. A. Makarov. Design of throttle devices: Directory / A. Makarov, M. Sherman. - M.: Meta-lurgizdat, 1953.- 224 p.