

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.432

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

М. М. БАЙГАЗИН¹, С. С. ДАУТОВ², А. О. БОРИСОВ³¹b-m-m2014@mail.ru, ²samat.dautov97@gmail.com, ³bor_ao@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. При работе автомобильного двигателя на режиме холостого хода подключение бортовых потребителей энергии приводит к существенному увеличению момента сопротивления практически ступенчатого вида. В классической системе автоматического регулирования (далее - САР) с обратной связью это приводит к провалам частоты вращения вала двигателя или к его остановке. В связи с этим при подключении потребителей повышенной мощности (кондиционер, усилитель руля) применяются комбинированное регулирование по отклонению частоты вращения и по нагрузке. В статье приведен анализ результатов моделирования САР с обратной связью и комбинированной.

Ключевые слова: холостой ход; моделирование; нагрузка; отклонение частоты вращения; принцип обратной связи; принцип компенсации; задержка включения нагрузки.

ВВЕДЕНИЕ

На режиме холостого хода современного автомобильного двигателя наиболее сложно обеспечить требуемые показатели качества регулирования частоты вращения. Это обусловлено двумя причинами:

- при частоте вращения 600 – 800 мин⁻¹ вал двигателя имеет минимальный запас кинетической энергии;
- при подключении бортовых потребителей двигатель испытывает ступенчатое увеличение нагрузки значительной величины, поскольку бортовые потребители энергии при низкой частоте вращения потребляют максимальный момент от вала двигателя.

При использовании классической системы автоматического регулирования (далее - САР) с обратной связью при подключении, например, компрессора кондиционера климатической установки наблюдаются существенные провалы частоты вращения, вплоть до остановки двигателя.

Целью данной работы являлась оценка резерва повышения качества регулирования частоты вращения вала автомобильного двигателя на режиме холостого хода при подключении мощных бортовых потребителей энергии (на примере кондиционера климатической установки).

АГРЕГАТНАЯ СХЕМА САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Типовая схема канала регулирования частоты вращения содержит датчик положения коленчатого вала; блок управления; исполнительный механизм, представленные на рис. 1.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ВОЗМУЩЕНИЯ

Для оценки амплитуды ступенчатого увеличения нагрузки был произведен расчет компрессора типового кондиционера для легкового автомобиля малого класса.

На основе анализа конструкций автомобильных кондиционеров были определены следующие исходные данные для расчета.

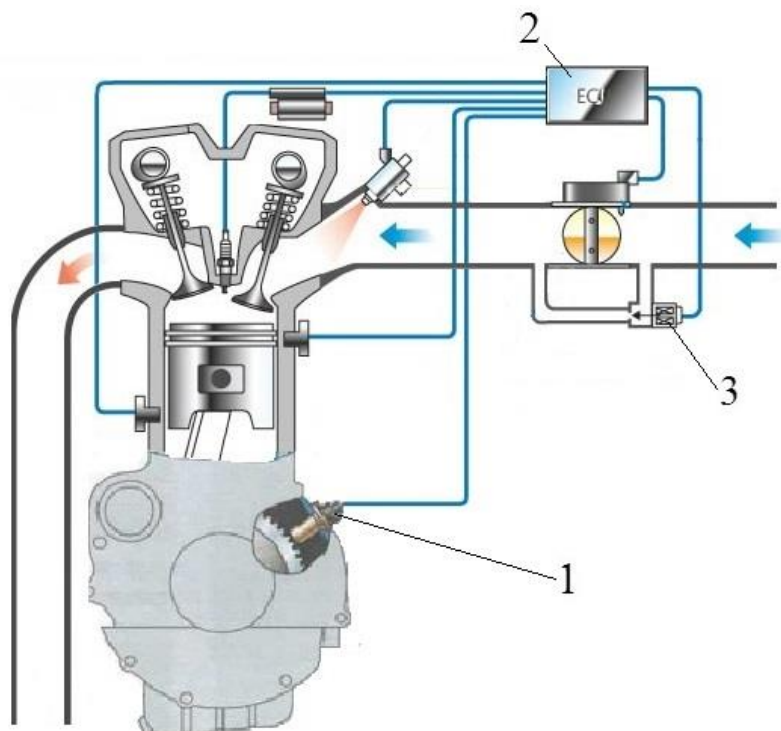


Рис. 1. Агрегатная схема САР частоты вращения вала двигателя на режиме холостого хода: 1 – датчик положения коленчатого вала; 2 – блок управления; 3 – исполнительный механизм

Поршневой компрессор типового кондиционера для легкового автомобиля имеет пять цилиндров, диаметр которых $d = 36$ мм, величина хода поршня $S = 26,7$ мм, величина вредного пространства $s = 0,026$. Хладагент при температуре $T_1 = -7$ °С в компрессоре претерпевает сжатие от давления $P_1 = 0,12$ МПа до $P_2 = 1,4$ МПа. В системе кондиционирования используется фреон $R-134a$ с показателем политропы $m = 1,1$; плотность хладагента $\rho = 7,96$ кг/м³.

Механический $\eta_{\text{мех}}$ и адиабатический $\eta_{\text{ад}}$ коэффициенты полезного действия компрессора принимаем на основе статистических данных 0,95 и 0,85 соответственно. Определена мощность компрессора $\sim 3,8$ кВт; с учетом передаточного отношения привода «вал двигателя – вал компрессора» получена зависимость момента на привод компрессора от частоты вращения вала двигателя, представленная на рис. 1.



Рис. 2. Зависимость момента компрессора климатической установки мощностью 3,8 кВт от частоты вращения вала двигателя

Таким образом, при низких частотах вращения вала двигателя (в том числе на режиме холостого хода) при включении кондиционера момент сопротивления ступенчато возрастает до значений 45 – 50 Н·м, т.е. до 40 – 50 % максимального момента, развиваемого двигателем.

ЗАМКНУТАЯ САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Принцип работы замкнутой САР, функциональная схема которой изображена на рис. 3 заключается в следующем:

- при работе двигателя в САР непрерывно происходит сравнение эталонного значения частоты вращения с действительным с помощью канала обратной связи. Это позволяет системе реагировать на любые отклонения действительного значения частоты вращения вала;

- подключения потребителя приводит к провалу частоты вращения, а значит, к отклонению от эталонного значения. В результате, САР формирует сигнал для дополнительного открытия байпасного воздушного канала на величину, соответствующую провалу частоты вращения.

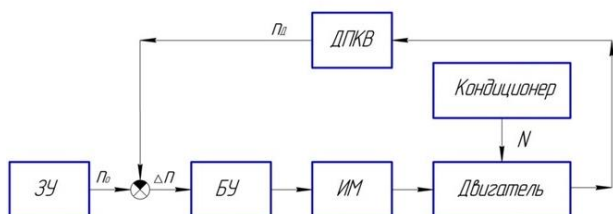


Рис. 3. Функциональная схема замкнутой САР частоты вращения вала двигателя:

ЗУ – задающее устройство; БУ – блок управления; ИМ – исполнительный механизм; ДПКВ – датчик положения коленчатого вала

Применение замкнутой САР не может обеспечить высокой точности регулирования частоты вращения, поэтому возникает необходимость добавления в систему дополнительного компенсирующего регулятора.

КОМБИНИРОВАННАЯ САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Комбинированная САР имеет канал компенсации включения кондиционера. Алгоритм работы канала компенсации складывается из следующих операций:

- измерение параметров возмущения, которые позволяют оценить его величину с требуемой точностью;

- формирование величины управляющего воздействия, определенным законом связанного с величиной возмущения;

- суммирование управляющего воздействия с воздействием канала обратной связи.

Применительно к нашей конкретной модели этот алгоритм формируется следующим образом:

- при включении кондиционера в зависимости от текущей частоты вращения блок управления определяет дополнительный момент сопротивления вращению вала двигателя (см. рис. 2);

- регулятор (в нашем примере - пропорциональный) формирует величину дополнительного открытия байпасного воздушного канала независимо от действительного значения частоты вращения.

Это приводит к увеличению индикаторной мощности двигателя в переходном процессе и уменьшает провал частоты вращения. Обеспечение требуемой статической точности регулирования не является задачей канала компенсационного управления. Эту задача решается введением в канал регулирования с обратной связью интегрирующего звена параллельно пропорциональному.

КОМБИНИРОВАННАЯ САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ С ЗАДЕРЖКОЙ ПОДКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ

Для дальнейшего уменьшения провала частоты вращения вала двигателя рассмотрим алгоритм работы САР, предусматривающий задержку подключения потребителя после поступления команды на его включение. На время задержки увеличивается эталонное значение САР частоты вращения для накопления некоторого дополнительного запаса кинетической энергии вращающихся деталей двигателя.

Предлагаемый алгоритм работы канала компенсации складывается из следующих операций:

- регистрация команды подключения потребителя;

- определение момента сопротивления подключаемого потребителя;

- формирование задержки включения потребителя (в общем случае переменной длительности, в зависимости от параметров потребителя);

- формирование нового эталонного значения САР частоты вращения вала двигателя на время задержки (в общем случае но-

вое эталонное значение пропорционально моменту сопротивления потребителя);

- подключение потребителя;
- формирование величины управляющего воздействия регулятора канала компенсации, в зависимости от момента сопротивления подключаемого потребителя;
- суммирование управляющего воздействия с воздействием канала обратной связи.

Применительно к нашей конкретной модели этот алгоритм формируется следующим образом:

- при включении кондиционера в зависимости от текущей частоты вращения блок управления определяет дополнительный момент сопротивления вращению вала двигателя (см. рис. 2);

- регулятор (в нашем примере - пропорциональный) формирует величину дополнительного открытия байпасного воздушного канала пропорциональную величине момента сопротивления потребителя.

Это приводит к увеличению индикаторной мощности двигателя в переходном процессе.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Методика исследований заключалась в определении показателей переходного процесса в САР частоты вращения вала двигателя при включении компрессора кондиционера. Для этого была использована программа моделирования динамики систем автоматического регулирования SAMSIM [1].

На рис. 4, 5 и 6 представлены структурные схемы (сборки в программе SAMSIM) замкнутой, комбинированной и комбинированной САР частоты вращения вала двигателя с задержкой подключения нагрузки соответственно [2].

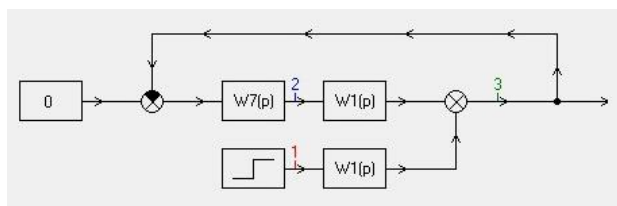


Рис. 4. Структурная схема замкнутой САР частоты вращения вала двигателя:

- 1 – приложение нагрузки ступенчатого вида (включение кондиционера); 2 – регулирующее воздействие (увеличение расхода воздуха через двигатель); 3 – изменение частоты вращения вала двигателя*

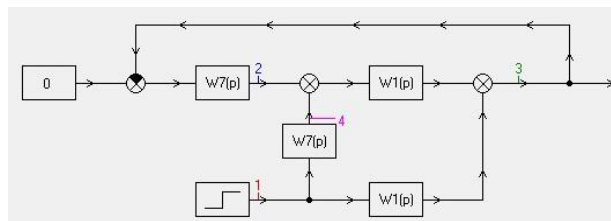


Рис. 5. Структурная схема комбинированной САР частоты вращения вала двигателя:

- 1 – приложение нагрузки ступенчатого вида (включение кондиционера); 2 – регулирующее воздействие (увеличение расхода воздуха через двигатель); 3 – изменение частоты вращения вала двигателя; 4 – регулирующее воздействие компенсационного регулятора (дополнительное увеличение расхода воздуха через двигатель)*

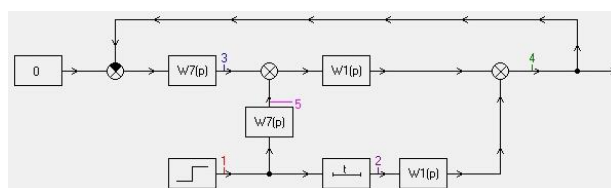


Рис. 6. Структурная схема комбинированной САР частоты вращения вала двигателя с задержкой подключения нагрузки: *1 – приложение нагрузки ступенчатого вида (включение кондиционера); 2 – задержка подключения нагрузки; 3 – регулирующее воздействие (увеличение расхода воздуха через двигатель); 4 – изменение частоты вращения вала двигателя; 5 – регулирующее воздействие компенсационного регулятора (дополнительное увеличение расхода воздуха через двигатель)*

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате моделирования были получены переходные характеристики замкнутой САР частоты вращения вала двигателя (в программе SAMSIM), изображенные на рис. 7.

Далее были получены переходные характеристики комбинированной САР частоты вращения вала двигателя, изображенные на рис. 8. Применение дополнительного компенсационного регулятора позволяет значительно уменьшить провал частоты вращения по сравнению с замкнутой САР.

При добавлении времени запаздывания включения нагрузки (рис. 9, а) и увеличении до определенного значения (полученного по результатам моделирования), в зависимости от момента сопротивления потребителя, удастся минимизировать провал частоты вращения (рис. 9, б). Дальнейшее увеличение времени запаздывания приводит

к возрастанию провала, это обусловлено тем, что САР набирает лишний запас кинетической энергии (рис. 9, в).

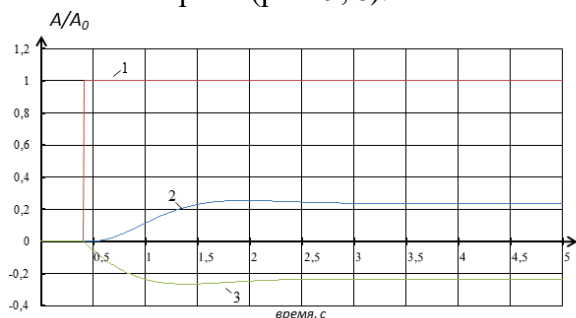


Рис. 7. Переходные характеристики замкнутой САР: 1 – включение потребителя; 2 – регулирующее воздействие; 3 – изменение частоты вращения вала двигателя

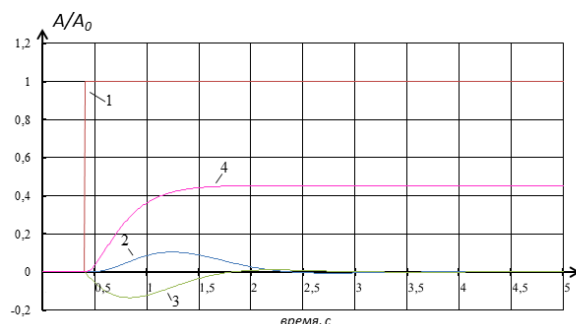


Рис. 8. Переходные характеристики комбинированной САР: 1 – включение потребителя; 2 – регулирующее воздействие; 3 – изменение частоты вращения вала двигателя; 4 – регулирующее воздействие компенсационного регулятора (дополнительное увеличение расхода воздуха через двигатель)

Компенсация с запаздыванием включения нагрузки позволяет получить минимальный провал частоты вращения.

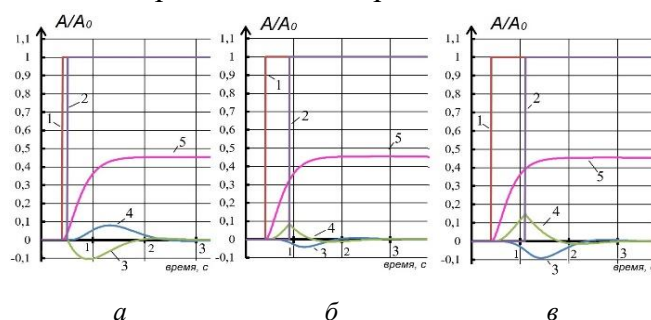


Рис. 9. Переходные характеристики комбинированной САР с запаздыванием подключения нагрузки: 1 – команда на включение потребителя; 2 – момент подключения потребителя; 3 – регулирующее воздействие основного регулятора; 4 – изменение частоты вращения вала двигателя; 5 – регулирующее воздействие компенсационного регулятора (дополнительное увеличение расхода воздуха через двигатель)

ВЫВОДЫ

В случае применения САР частоты вращения вала двигателя с обратной связью и пропорциональным регулятором при подключении компрессора бортового кондиционера номинальной мощностью 3,8 кВт наблюдается провал частоты вращения вала двигателя на $\sim 27\%$ и возникает статическая ошибка $\sim 25\%$.

Применение комбинированной САР при подключении той же нагрузки уменьшает провал частоты вращения вала практически в 2 раза. При согласовании параметров компенсирующего регулятора с величиной подключаемой нагрузки, комбинированная САР частоты вращения обеспечивает нулевую величину статической ошибки.

Применение комбинированной САР с запаздыванием подключения нагрузки уменьшает провал частоты вращения вала до 5% .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самуйлов К. Д. Программа для моделирования линейных и нелинейных цепей в системах автоматического управления SAMSIM. URL: <http://www.samsim.fromru.com>. [K.D. Samujlov The program for modeling of linear and nonlinear chains in SAMSIM automatic control systems. Available: <http://www.samsim.fromru.com>.]

2. Борисов А.О. Автоматическое регулирование и управление ДВС // Уфа.: УГАТУ, 2017. 37 с. [A.O. Borisov, Automatic regulation and steering of DVS. Ufa, USATU, 2017]

ОБ АВТОРАХ

БАЙГАЗИН Марат Мажитович, магистрант каф. ДВС. Дипл. бакалавр (УГАТУ, 2019). Готовит дис. о применении комбинированных САР для ДВС.

ДАУТОВ Самат Салаватович, магистрант каф. ДВС. Дипл. бакалавр (УГАТУ, 2019). Готовит дис. о применении комбинированных САР для ДВС.

БОРИСОВ Александр Олегович, канд. техн. наук, доцент каф. ДВС. Дипл. инженер-механик (Уфимский авиационный институт, 1977). Канд. техн. наук по тепловым двигателям (Московский автомеханический институт, 1982). Иссл. в области регулирования поршневых двигателей.

METADATA

Title: Improved accuracy of the shaft speed of the engine regulation by compensating for perturbations

Authors: M. M. Baigazin¹, С. С. Даутов², А. О. Borisov³

Affiliation:

^{1,2,3} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ b-m-m2014@mail.ru, ² samat.dautov97@gmail.com, ³ bor_ao@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 6-11, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: When working on the vehicle engine idling connection onboard energy consumers leads to a substantial increase in the moment of resistance to virtually step type. In the classical system of automatic regulation (hereinafter ATS) with feedback that leads to failures of the rotation frequency of the motor shaft or stop. In this regard, when connecting consumers increased power (power steering) applied combined with frequency deviation control and compensation of connected load. The article provides an analysis of modelling results ATS and combined.

Key words: idle, simulation, load, deflection speed feedback principle principle of compensation.

About authors:

BAIGAZIN, Marat Magitovich, Graduated Student, Dept. of Internal combustion engines (USATU, 2019).

DAUTOV, Samat Salavatovich, Graduated Student, Dept. of Internal combustion engines (USATU, 2019).

BORISOV, Aleksandr Olegovich, Candidate of technical sciences on thermal engines (MAMI, 1982). Studies in the field of regulation engine.