

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫДАЧИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ВОДИТЕЛЮ

А.С. Воронов, А.С. Тюфяков, Н.Н. Калигин
ОАО "МКБ "Компас", ФГУП «НАМИ», МИЭМ НИУ ВШЭ
г. Москва

Статья посвящена разработке научных основ алгоритма автоматизированной выдачи рекомендаций водителю по выбору оптимального стиля вождения. Оптимальность рассматривается с точки зрения обеспечения минимального расхода топлива и сохранения ресурса транспортного средства на основе анализа особенностей характеристик дизельных двигателей автомобилей категорий N2/N3.

Ключевые слова: стиль вождения, оптимальный режим движения, оценка стиля вождения, система выдачи рекомендаций водителю, безопасность вождения.

На водителя грузового автотранспорта, попадающего в категории N2/N3, ложится сложная задача по выбору оптимальной в конкретных дорожных условиях ступени многоступенчатой (общим числом до 16) коробки передач.

Данная задача обычно решается водителем на основе собственного опыта, что не гарантирует достижения минимального эксплуатационного расхода топлива при обеспечении оптимальных условий работы агрегатов автомобиля, необходимых для обеспечения максимального ресурса автомобиля в целом.

За то время, пока водитель получает опыт высококвалифицированного вождения, он допускает ошибки. Данные ошибки могут влиять на безопасность дорожной обстановки, на расход топлива и на общий износ транспортного средства [1]. При длительном передвижении за рулем водитель устает. Это приводит к появлению ошибок даже у опытных водителей. Целью работы системы выдачи рекомендаций водителю является исключение таких ситуаций.

Для технической реализации системы должна быть проведена работа по формулированию научных основ для выбора оптимального режима движения грузового автомобиля с дизельным двигателем, оборудованным механической ступенчатой коробкой передач с ручным управлением.

На основе анализа особенностей характеристик современных дизельных двигателей были сформулированы основные принципы выбора оптимальной в конкретных дорожных условиях ступени коробки передач, позво-

ляющие обеспечить достижение в эксплуатации минимального расхода топлива.

Ниже приведен алгоритм работы указанной системы, предусматривающий возможность выбора водителем ряда настроек, определяющих рекомендуемый режим переключения передач.

В алгоритме управления разработанной системой предусмотрено использование загружаемых в постоянную память блока управления устройством фиксированных калибровочных параметров.

Калибровочные параметры подбираются отдельно для каждого из вариантов комплектации автомобиля. Учитываются наборы передаточных отношений ступеней коробки передач, передаточное отношение главной передачи, радиус качения шин.

Помимо фиксированных калибровочных параметров используются автоматически адаптируемые параметры работы конкретного двигателя на конкретном автомобиле. Это позволяет обеспечить выдачу рекомендаций по выбору ступени коробки передач с максимальной точностью. При условии следования выдаваемым автоматизированной системой рекомендациям, достигается максимально возможный эффект по снижению расхода топлива в эксплуатации.

Система рекомендаций учитывает многовариантность при взаимосвязи режимов движения автомобиля с режимами работы двигателя и обеспечивает выбор оптимального сочетания степени нажатия на педаль акселератора и номера включенной передачи в конкретных дорожных условиях при данной массе перевозимого груза с желаемой скоро-

стью. В системе присутствуют критерии оценки характеризующее конкретного водителя по стилю вождения на основе выбранных им вариантов управления грузовиком.

В качестве исходных данных для анализа были выбраны показатели одного из вариантов исполнения рядного шестицилиндрового дизельного двигателя с турбонаддувом рабочим объемом 12 л.

Работа двигателя внутреннего сгорания происходит в пределах рабочего поля нагрузочных (по крутящему моменту или мощности) и скоростных (по частоте вращения коленчатого вала) режимов. Взаимосвязь величины крутящего момента, частоты вращения коленчатого вала и мощности описывается формулой:

$$N_e = M_k * n / 9550,$$

где: N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; M_k – крутящий момент на коленчатом валу двигателя, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

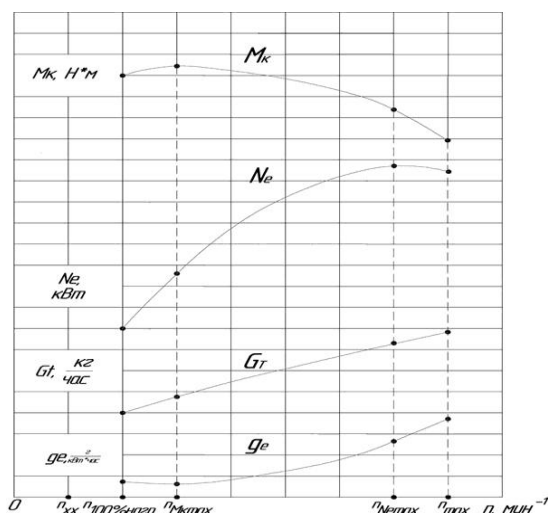


Рисунок 1 – Поле скоростных и нагрузочных режимов двигателя внутреннего сгорания

Показатели двигателя внутреннего сгорания в отношении степени оптимальности рабочего процесса в каждой точке поля режимов (рисунок 1) характеризуются удельным расходом топлива и описываются следующей зависимостью:

$$g_e = 1000 * G_t / N_e,$$

где: g_e – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч, G_t – часовой расход топлива, – кг/ч, N_e – эффективная мощность на валу двигателя, кВт.

Точка n_{xx} на рисунке 1 характеризует минимальную частоту вращения коленчатого вала на холостом ходу и соответствующие ей

максимально допустимые с точки зрения работоспособности и сохранения ресурса двигателя значения крутящего момента и мощности, обеспечиваемые путем увеличения топливopодачи от минимальной величины на режиме холостого хода. Поскольку значение эффективной мощности на коленчатом валу двигателя при его работе на холостом ходу отсутствует (равно нулю), значение удельного эффективного расхода топлива g_e в этой точке стремится к бесконечности.

Аналогично, все точки поля скоростных и нагрузочных режимов, лежащие на горизонтальной оси частоты вращения при нулевом значении эффективной мощности, характеризуются бесконечно большим удельным эффективным расходом топлива.

Точка $n_{100\%нагр}$ характеризует частоту вращения коленчатого вала, при которой при максимально допустимой величине топливopодачи обеспечиваются максимальные для данного режима величины крутящего момента и мощности, при которых двигатель без опасности его повреждения может работать продолжительное время с максимальной топливopодачей.

Точка n_{Mkmax} характеризует частоту вращения коленчатого вала, при которой достигается максимальное значение крутящего момента и соответствующее для данного скоростного режима значение мощности.

Точка $n_{Me max}$ характеризует частоту вращения коленчатого вала, при которой достигается максимальное значение мощности при снижении величины крутящего момента от его максимального значения в точке n_{Mkmax} .

Точка n_{max} характеризует частоту вращения коленчатого вала, при превышении которой возможно повреждение деталей двигателя. На прогретом двигателе значение частоты вращения для указанной точки может на 200-500 мин⁻¹ превышать частоту вращения, соответствующую точке n_{max} .

Для современных двигателей с турбонаддувом, на которых реализуется стратегия ограничения выброса токсичных веществ с отработавшими газами, минимальное значение удельного эффективного расхода топлива достигается вблизи режимов полных нагрузок.

На рисунке 2 в качестве примера показана серия нагрузочных характеристик для различных частот вращения коленчатого вала, определенная на вышеуказанном шестицилиндровом дизельном двигателе.

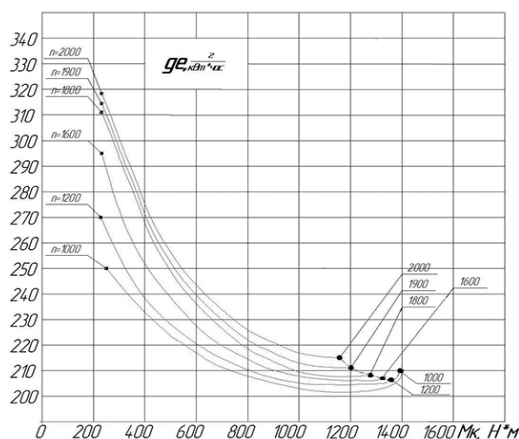


Рисунок 2 – Пример серии нагрузочных характеристик дизельного двигателя

На рисунке 2 показано, что каждая из частных нагрузочных характеристик для соответствующих частот вращения коленчатого вала имеет справа конечную точку, обозначенную соответственно числами от 1000 до 2000. Эти точки, соединенные на рисунке штриховой линией, характеризуют, обеспечиваемый двигателем, крутящий максимальный момент и достигаемый при этом удельный расход топлива по внешней скоростной характеристике двигателя. На рисунке видно, что топливная аппаратура данного двигателя на всех частотах вращения коленчатого вала, кроме 1000 мин⁻¹, при увеличении нагрузки настроена на ограничение топливоподачи около или даже ранее достижения точки минимального удельного расхода топлива. Поэтому режим работы двигателя с максимальной нагрузкой на частотах вращения коленчатого вала, начиная от 1200 мин⁻¹, не должен рассматриваться как неоптимальный с точки зрения топливной экономичности.

Таким образом, учитывая показанный на рисунке 2 типичный характер нагрузочных характеристик дизельного двигателя, для достижения минимального расхода топлива при выборе ступеней коробки передач следует выбирать такие из них, которые обеспечивают работу двигателя под нагрузкой с минимально возможной по условиям работоспособности и ресурса его механизмов частотой вращения коленчатого вала (около 1100-1200 мин⁻¹), обеспечивающей при этом получение необходимой для движения автомобиля мощности при возможно большей величине нагрузки. Переход на пониженную передачу становится целесообразным только в том случае, когда необходимо увеличить скорость движения автомобиля или повысить интенсивность ускорения после вынужденного

практически полного нажатия на педаль акселератора.

Учитывая значительный рост удельного расхода топлива при работе двигателя с высокой частотой вращения коленчатого вала, в эксплуатации даже при «динамичном» стиле вождения следует избегать скоростных режимов, превышающих 1800-1900 мин⁻¹, своевременно переходя на более высокие передачи. Понижение среднего скоростного режима работы двигателя с 1600-1800 до 1200-1400 мин⁻¹ при «экономичном» стиле вождения может способствовать снижению эксплуатационного расхода топлива не менее чем на 5-7%.

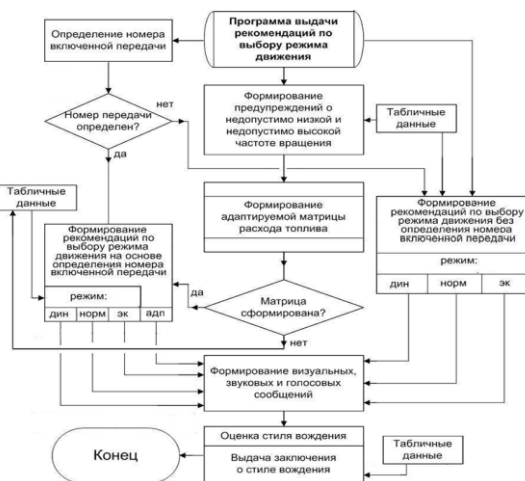


Рисунок 3 – Схема взаимосвязей функциональных блоков алгоритма

Схема взаимосвязей функциональных блоков алгоритма управления системой автоматизированной выдачи рекомендаций по выбору оптимального режима движения приведена на рисунке 3. Алгоритм управления системой автоматизированной выдачи рекомендаций по выбору оптимального режима движения состоит из следующих основных функциональных блоков:

1. Блок выбора версии рабочего окна системы;
2. Блок выбора видов оповещения;
3. Блок формирования предупреждений о недопустимо низкой и недопустимо высокой частоте вращения коленчатого вала;
4. Блок формирования визуальных, звуковых и голосовых сообщений;
5. Блок формирования рекомендаций по выбору режима движения без определения номера включенной ступени коробки передач;
6. Блок определения номера включенной ступени коробки передач;

7. Блок формирования рекомендаций по выбору режима движения с определением номера включенной ступени коробки передач;
8. Блок формирования адаптируемой матрицы расхода топлива;
9. Блок оценки стиля вождения.

В алгоритме управления системой используются перечисленные ниже текущие параметры, характеризующие режим работы двигателя и агрегатов, а также особенности конкретной модели автомобиля и его комплектации:

1. частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹;
2. скорость автомобиля, км/ч;
3. температура охлаждающей жидкости, С⁰;
4. признак отпущенного положения педали акселератора;
5. признак полного нажатия на педаль акселератора;
6. признак нажатого положения педали сцепления
7. величина крутящего момента на коленчатом валу двигателя, Нм;
8. мгновенное значение расхода топлива, л/ч;
9. величина продольного ускорения, g;
10. величина бокового ускорения, g;
11. признак нейтрального положения коробки передач.

Для оценки стиля вождения выбирается норма ρ от выражаемых численно поведенческих характеристик водителя [2]. На основе нормировки проводится классификация водителей [2,3]. При движении автомобиля на заданной дистанции производится вычисление нормы, взятой от композиции, соответствующей каждому из перечисленных ниже событий:

1. Полное нажатие на педаль акселератора продолжительностью менее 2 с;
2. Нажатие на педаль акселератора с мгновенной скоростью, превышающей 80%/с;
3. Превышение частотой вращения коленчатого вала уровня 1800 об/мин;
4. падение частоты вращения коленчатого вала ниже допустимого уровня;
5. Превышение частоты вращения коленчатого вала допустимого уровня;
6. превышение величины бокового ускорения уровня 0,2g (интенсивность маневров);

7. Превышение величины продольного ускорения уровня 0,05g (интенсивность разгона);
8. Превышение величины продольного замедления уровня 0,2g (интенсивность торможения).

В результате работы были сформулированы основные принципы оптимальной эксплуатации автомобиля, позволяющие достичь минимального расхода топлива. На базе этих принципов был разработан автоматический алгоритм выдачи рекомендаций водителю в процессе движения и оценки его стиля вождения. Разработанный алгоритм был реализован в виде компьютерной модели, на вход которой подаются данные с датчиков грузового автомобиля. Для тестирования алгоритма были использованы данные автомобиля КАМАЗ 5490, зарегистрированные с бортовой CAN шины на известном участке дороги протяженностью 300 км с помощью опытного водителя. Тестирование показало хорошие результаты: потенциально достижимая экономия топлива, при условии следования рекомендациям алгоритма, составляет 5%. Данный алгоритм можно рекомендовать к использованию в бортовых системах грузовых автомобилей категорий N2/N3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка программы мероприятий по повышению безопасности движения на участках концентрации ДТП на дорогах общего пользования Архангельской области. Приложение 1. // АвтоДорожный Консалтинг. – Архангельск. – 2004.
2. А. С. Воронов, Н. Н. Калигин. Методика определения стиля вождения на основе кластерного анализа // Ползуновский альманах. – 2015. – №1. – С.39-41.
3. Adam Coates and Andrew Y. Ng. Learning Feature Representations with K-means // Stanford University. – 2012.

Воронов Александр Сергеевич – к.т.н., начальник отдела разработки встраиваемых систем, тел.: (495) 951-40-62, e-mail: asvoronov@bk.ru;
Тюфяков Андрей Семенович – к.т.н., главный специалист, e-mail: namitas2@rambler.ru;
Калигин Николай Николаевич – аспирант, ведущий инженер-программист. e-mail: nkaligin@yandex.ru.