

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ И ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.Ф. Боровиков, канд. техн. наук, доцент, Н.Д. Янцов, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

Аннотация

Обобщена техническая информация об изменении подходов к оценке показателей работы тракторных дизелей по скоростной характеристике за последние десятилетия. Дан анализ направлений технического развития тракторных дизелей. Показано, что изменение подходов к регулированию вызвано ужесточением нормативных требований к экологическим показателям дизельных двигателей и рыночных требований к их мощностно-экономическим показателям, что достигается применением на тракторных дизелях регулируемых турбокомпрессоров наддува и электронно-управляемых систем топливоподачи.

Введение

Основные свойства двигателей, характеризующие динамические и технико-экономические показатели их работы, отражаются различными характеристиками. Различают регуляторные, скоростные, нагрузочные, регулировочные и специальные характеристики [1].

Основными показателями работы двигателей являются:

- эффективная мощность Ne ;
- крутящий момент на валу двигателя M_k ;
- частота вращения коленчатого вала n ;
- удельный эффективный расход топлива g_e ;
- часовой расход топлива G_m .

Зависимость названных показателей от эффективной мощности двигателя Ne называют регуляторной характеристикой, т. е.

$$n, g_e, M_k, G_m = f(Ne).$$

Под скоростной характеристикой в технической литературе понимают зависимость названных основных показателей от частоты вращения n коленчатого вала.

Действующий ГОСТ 18509-88 «Тракторные и комбайновые дизели. Методы испытаний» рекомендует в качестве основной характеристики тракторного дизеля регуляторную характеристику. Это же рекомендуют популярный среди специалистов справочник по тракторным дизелям [2], учебник Московского автодорожного института [3] и другая техническая литература.

В то же время, в технических материалах зарубежных компаний такая характеристика не используется, и в качестве основной всегда приводится скоростная характеристика. Скоростная характеристика имеет хорошо представимый аргумент – частоту вращения коленчатого вала. По этой причине она представляется как основная характеристика двигателей.

Анализ эволюции скоростных характеристик тракторного дизеля даёт полезную информацию о развитии конструкции двигателя и его систем, о повышении требований к двигателям и позволяет прогнозировать развитие двигателей в ближайшей перспективе.

Такой анализ скоростных характеристик особенно ценен для его использования в учебном процессе, поскольку современное изложение технической информации носит, отчасти, рекламный характер, т.е. имеется нестрогое научно-техническое объяснение выбранных конструкторами технических решений.

Основная часть

Скоростную характеристику двигателя (рис. 1) принято подразделять на две характерные зоны: регу-

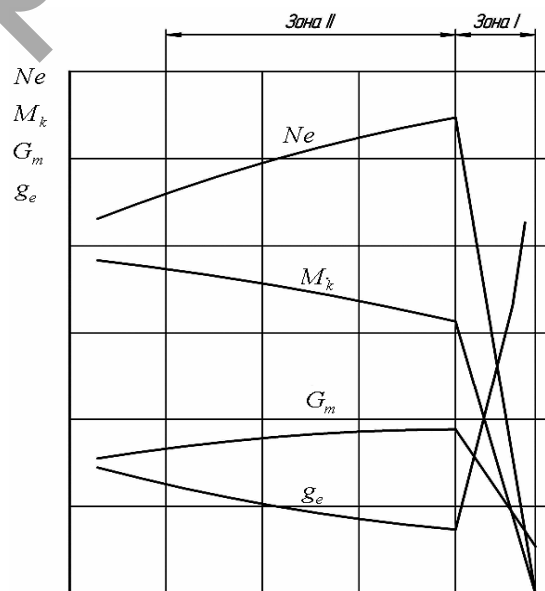


Рисунок 1. Пример скоростной характеристики тракторного дизеля, формируемой с приоритетом мощностно-экономических требований

ляторную (зона I) и безрегуляторную или перегрузочную и корректорную (зона II).

Скоростные характеристики тракторных дизелей, выпускаемых до 90-х годов прошлого столетия, имели, практически, прямолинейные корректорные и регуляторные ветви (рис. 1). На двигателях устанавливался постоянный угол опережения подачи топлива (УОПТ).

При этом регуляторная ветвь обеспечивала значительное изменение крутящего момента в узком скоростном диапазоне, а корректорная ветвь обеспечивала незначительное изменение крутящего момента на перегрузке дизеля при резком падении частоты вращения коленчатого вала.

Идея такой организации скоростной характеристики состоит в том, что регуляторная ветвь была рабочей и производственные сельскохозяйственные операции требовали относительно постоянной агротехнической скорости машинно-тракторного агрегата (МТА) и частоты вращения вала отбора мощности (ВОМ) для приведения в действие агрегируемых машин.

Корректорная ветвь соответствовала перегрузке двигателя. Работа на корректорной ветви должна была сигнализировать оператору (или автоматической системе переключения передач) о режиме перегрузки двигателя и о приближении момента переключения на низшую передачу. Падение частоты вращения коленчатого вала служило отчётливо воспринимаемым сигналом о перегрузке двигателя.

Минимальное значение удельного эффективного расхода топлива g_e обычно соответствовало номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля. При правильном использовании трактора в производственной технологии, тракторный двигатель должен был работать в режиме, близком к режиму номинальной мощности, и преимущественный режим должен быть максимально экономичным. Удельный эффективный расход топлива на номинальной частоте вращения коленчатого вала считался «оценочным» показателем для разработчиков двигателя, и поэтому разработчики прилагали усилия, чтобы именно на этом режиме дизель имел наилучшую экономичность и минимальный удельный эффективный расход топлива.

С начала 90-х годов резко ужесточились требования к экологическим показателям работы двигателей. Это было вызвано, в первую очередь, ужесточением экологических норм количества выбросов в окружающую среду оксидов азота, содержащихся в дизельном топливе, которые при взаимодействии с влагой воздуха образуют азотную и азотистую кислоты, отрицательно влияющие на все живое.

Одним из технических решений для снижения выброса оксидов азота стало уменьшение угла опережения подачи топлива у дизелей. При этом «позднее» сгорание убирает пик температуры сгорания и уменьшает ассоциацию оксидов азота при высоких температурах из свободных азота и кислорода впускного воздуха.

Естественно, что при уменьшенном УОПТ более экономичные режимы и минимальное значение на кривой g_e по скоростной характеристике стали смещаться в зону более низких частот вращения коленчатого вала от номинальной частоты вращения (рис. 2).

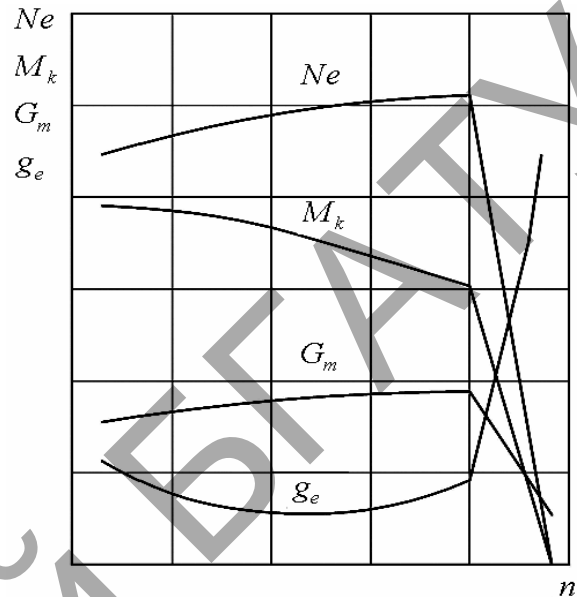


Рисунок 2. Пример скоростной характеристики тракторного дизеля с уменьшенным УОПТ для снижения оксидов азота и серы

Это объясняется тем, что величина периода задержки воспламенения топлива определяется химическими процессами, и при уменьшенном установочном УОПТ пик давлений на такте расширения (рабочем такте) при снижении частоты вращения коленчатого вала приближается к верхней мертвой точке, и двигатель работает экономичнее.

Дальнейшее ужесточение нормативных требований к экологическим показателям двигателей внутреннего сгорания и рыночных требований к их мощностно-экономическим показателям – привели к оправданному применению на тракторных дизелях регулируемых турбокомпрессоров наддува воздуха в цилиндры и электронных систем топливоподачи, обеспечивающих необходимое количество топлива.

Совместное применение названных систем позволило значительно расширить возможности формирования скоростных характеристик дизелей с целью удовлетворения возросших требований к основным показателям дизелей. Причём, развитие этого направления, в первую очередь, сдерживалось возможностями регулирования воздухоподдачи регулируемым турбокомпрессором (ТКР), как более сложной технической задачей. На сегодняшний день известно несколько способов регулирования подачи впускного воздуха компрессором ТКР. Это – перепуск части впускного воздуха через обходной канал, изменение геометрии проточной части турбины, например, передвижением направляющей части турбины, регулирование направления потока от-

работавших газов с помощью дополнительных управляемых лопаток турбины, «подкрутка» ТКР с помощью электродвигателя.

Поскольку именно возможностью ТКР поддерживать необходимое наполнение цилиндров воздухом определяется уровень цикловой подачи топлива, то ТКР является «ведущим» узлом, система питания двигателя топливом – «ведомым» узлом этого направления. При этом для эффективной реализации увеличенной цикловой подачи топлива при повышенном наполнении цилиндров воздухом должны одновременно решаться задачи: увеличения скорости объемной подачи топлива в цилиндры, увеличения давления впрыска, обеспечения многостадийности подачи топлива за цикл, увеличения количества сопел распылителя форсунок. Кроме того, современная система подачи топлива должна автоматически изменять целый ряд регулировок в зависимости от скоростных и нагрузочных режимов двигателя и в зависимости от состояния атмосферного воздуха [4, 5].

Первым значительным результатом применения регулируемых ТКР и электронных систем управления

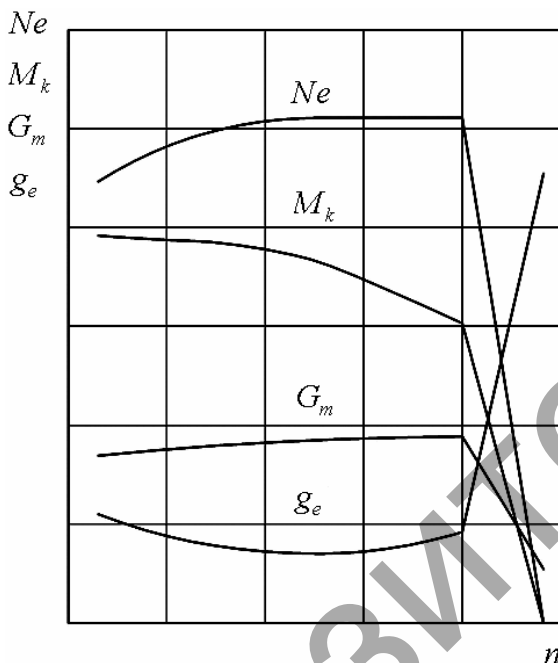


Рисунок 3. Пример скоростной характеристики тракторного дизеля постоянной мощности

подачей топлива явилось создание, так называемых, «двигателей постоянной мощности» (ДПМ) (рис. 3).

ДПМ при снижении частоты вращения коленчатого вала из-за повышения момента сопротивления имел возможность повышать крутящий момент за счёт поддержания высокого наполнения двигателя, обеспеченного регулируемым ТКР. Высокое наполнение воздухом двигателя позволяло, в свою очередь, увеличивать цикловую подачу и среднее эффективное давление в цилиндрах.

Причем, возможности регулирования ТКР позволяли на некотором участке частоты вращения коленчатого

вала ниже номинальной поддерживать постоянную эффективную мощность. К этому периоду развития дизелей и усложнения протекания скоростной характеристики относятся изменения в ГОСТ 18509, где вместо коэффициента приспособляемости по моменту введены два коэффициента запаса крутящего момента – номинальный и корректорный. Эти два коэффициента более полно описывают усложнившуюся корректорную ветвь скоростной характеристики.

Указанное протекание кривых на скоростной характеристике имеет и достоинства и недостатки. К достоинству можно отнести то, что при сохранении, примерно, постоянного и оптимального наполнения дизеля в зоне постоянной мощности, дизель работает экономично и экологично. При этом часть корректорной ветви скоростной характеристики, прилегающая к режиму номинальной частоты вращения и являющаяся зоной постоянной мощности, превращается из перегрузочного режима в рабочую часть характеристики. Естественно, что такой метод формирования скоростной характеристики увеличил диапазон колебаний рабочих скоростей МТА, но можно допустить, что это незначительный недостаток.

Широкое автоматическое изменение крутящего момента в экономичном режиме уменьшило число переключений передач и позволило упростить КПП за счёт уменьшения ступеней трансмиссии.

К серьёзному недостатку можно отнести то, что применение ДПМ вынудило применять многоскоростные редукторы привода ВОМ для обеспечения узкого скоростного диапазона рабочих валов приводных сельскохозяйственных машин.

При анализе скоростной характеристики ДПМ возникает вопрос, – а можно ли всю ветвь на частотах вращения ниже номинальной частоты называть корректорной, в прежнем значении этого термина? Ведь теперь на этой ветви двигатель работает не только кратковременно, на перегрузке. Теперь часть корректорной ветви, соответствующая постоянной мощности, является уже зоной рабочих режимов. Авторы статьи полагают, что здесь необходима дискуссия специалистов и уточнение технической терминологии, относящейся к проблеме.

Дальнейшее развитие методов регулирования ТКР позволило ещё более значительно увеличивать наполнение двигателя воздухом при снижении частоты вращения коленчатого вала. Это позволило настолько увеличивать цикловую подачу, что эффективная мощность уже не просто не падала, она возрастала, увеличивая запас крутящего момента при снижении частоты вращения коленчатого вала (рис. 4).

При этом минимальное значение удельного эффективного расхода топлива g_e перемещается к частоте вращения коленчатого вала, соответствующей режиму максимального крутящего момента, т. е. к минимально возможному значению частоты вращения коленчатого вала. Объясняется это тем, что при постоянном значении коэффициента избытка воздуха, более экономичное протекание рабочего процесса

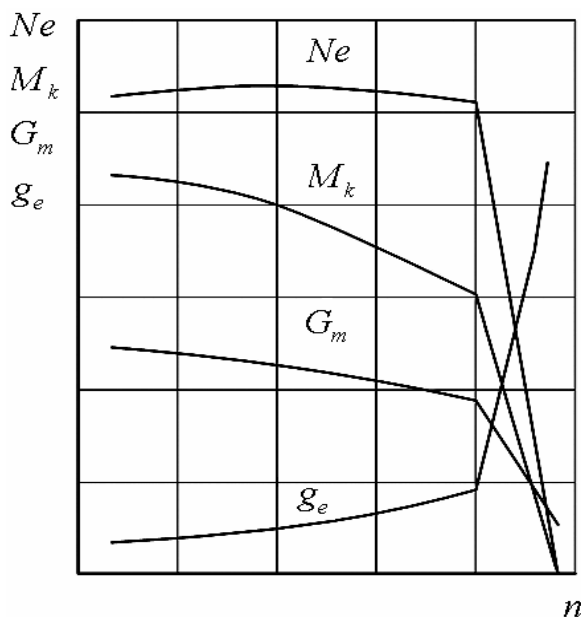


Рисунок 4. Пример скоростной характеристики тракторного дизеля с эффективно регулируемым ТКР

будет при меньшей частоте вращения коленчатого вала из-за увеличенного времени рабочего процесса и более полного сгорания топлива при этом. Кроме того, на низких частотах вращения коленчатого вала будут меньшие механические потери и большее значение механического к.п.д. двигателя.

Выводы

1. Изменение подходов к формированию скоростной характеристики тракторного дизеля вызвано ужесточением нормативных требований к экологическим показателям ДВС и рыночных требований к мощностно-экономическим показателям ДВС.

2. Техническое развитие систем питания дизеля воздухом и топливом обеспечило выполнение поставленных задач по улучшению эксплуатационных показателей тракторных дизелей. Регулируемые ТКР и система топливоподачи, управляемые электроникой, обеспечили высокие значения коэффициентов запаса крутящего момента на той части скоростной характеристики, которую традиционно называют корректорной ветвью.

3. В перспективе дальнейшая эволюция скоростной характеристики тракторного дизеля будет, по-видимому, определяться и далее возможностями регулирования ТКР. При этом очевидно, что способы регулирования ТКР, которые увеличивают противодавление на выпуске, малоприемлемы для развития этого направления. Более подходящими могут быть способы внешнего воздействия на ТКР, например, «подкрутка» компрессора ТКР с помощью электродвигателя, что начинает применяться на двигателях легковых автомобилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тракторы и автомобили: учебник для с.-х. техникумов/ В.А. Скотников [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 162-172.
2. Взоров, Б.А. Тракторные дизели: справочник / Б.А. Взоров. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.
3. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания: справочник для вузов: в 3 т./ В.Н. Луканин. – М.: Высшая школа, 2005. – Т. – 1: Теория рабочих процессов. – 479 с.
4. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов/ Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – 2-е изд. – М.: «Легион-Автодата», 2005. – 344 с.
5. Боровиков, В.Ф. Аккумуляторные топливные системы автотракторных дизелей/ В.Ф. Боровиков //Агропанорама, №1, 2008. – С. 13-16.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2009 года: для индивидуальных подписчиков - 24300 руб., ведомственная подписка - 48600 руб.