

DOI

УДК 621.436:681.518.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМОЙ COMMON RAIL В РЕЖИМЕ СВОБОДНОГО РАЗГОНА**А. Ф. Курносов**

Реферат. Повышение эффективности эксплуатации современных транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения невозможно достичь без своевременной диагностики двигателя. Экспериментальные исследования проводили с целью совершенствования методики диагностирования дизельного двигателя ЯМЗ-53445-22 с топливной системой Common Rail путем оценки комплекса диагностических параметров при свободном разгоне двигателя от минимальной до максимальной частоты вращения коленчатого вала. Время свободного разгона двигателя при работе на всех цилиндрах составляет 1,84 с, при отключенном третьем цилиндре – 2,54 с. Отключение третьего цилиндра приводит к увеличению амплитуды ускорения со 140 с^{-2} до 297 с^{-2} , что свидетельствует о повышении неравномерности работы цилиндров. Общая цикловая подача топлива и его расход при отключении одного из цилиндров повышаются, что свидетельствует о некорректном расчете электронным блоком управления действительной цикловой подаче топлива. При отключении одного из цилиндров, индикаторный крутящий момент, исчисленный программно относительно общей цикловой подачи топлива, увеличивается с 243 до 291 Нм при частоте вращения коленчатого вала 2630 мин^{-1} , при этом эффективные показатели двигателя с использованием существующих средств измерений определить невозможно. Разработанная методика диагностирования двигателя ЯМЗ-53445-22 в режиме свободного разгона предполагает оценку технического состояния двигателя на основе анализа неисправностей, установленных встроенной системой диагностирования, а также по времени разгона, ускорению коленчатого вала, общей цикловой подаче топлива, расходу топлива и давлению наддува воздуха.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, свободный разгон, ускорение коленчатого вала, цикловая подача топлива, расход топлива, давление наддува воздуха, индикаторный крутящий момент.

Введение. Эффективное использование транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения возможно при условии своевременной оценки технического состояния их двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Современные ДВС оснащены топливными системами с интеллектуальным управлением и диагностированием [1, 2, 3], среди которых наибольшее распространение получила топливная система аккумуляторного типа Common Rail [4, 5]. Электронное управление подачей топлива в цилиндры ДВС создает возможности для оперативной оценки работоспособности двигателя с использованием электронных средств диагностирования, которую можно проводить при периодическом диагностировании в ходе очередного технического обслуживания. Для современных отечественных дизельных ДВС ЯМЗ-534 и ЯМЗ-536 с электронной системой управления методика диагностирования предусматривает чтение и расшифровку кодов неисправностей, оценку величин диагностических сигналов электронных компонентов (датчиков), а также диагностику механической части двигателя с использованием внешних средств [6, 7], однако она не содержит конкретных рекомендаций о последовательности действий при диагностировании.

Разработанные авторские методики диагностирования двигателей внутреннего сгорания с топливными системами Common Rail [8, 9, 10] предполагают диагностирование топливных форсунок, восстановление

параметров технического состояния которых не гарантирует работоспособности топливной системы и двигателя в целом. При этом для использования широко информативных диагностических параметров, например, внутрицикловое ускорения коленчатого вала (КВ) [11, 12, 13], необходимо применение специальных измерительных устройств с высокой частотой дискретизации, увеличивающих стоимость диагностики.

Повысить оперативность диагностирования двигателей внутреннего сгорания можно путем совершенствования существующих методик с использованием цифровых диагностических средств измерений. Ранее было предложено диагностировать двигатель внутреннего сгорания ЯМЗ-536, работающего совместно с автоматической коробкой передач по методике, предполагающей его загрузку силами сопротивления гидротрансформатора и измерение текущих параметров встроенной системы диагностирования [14]. Однако в случае с механической коробкой передач загрузить двигатель силами сопротивления гидротрансформатора невозможно, поэтому предложенные решения требуют совершенствования.

Цель исследований – совершенствование методики диагностирования дизельного двигателя с топливной системой Common Rail путем использования комплекса диагностических параметров в режиме свободного разгона (СР).

Условия, материалы и методы. Работу проводили на четырехцилиндровом

четырёхтактном дизельном двигателе ЯМЗ-53445-22, установленном на автомобиле ГАЗ-САЗ-2507 (рис. 1), широко используемом в сельском хозяйстве.

Основные технические характеристики двигателя: диаметр поршня составляет 105 мм, ход поршня - 128 мм, рабочий объем двигателя - 4,43 л, максимальная мощность - 125 кВт, номинальная частота вращения коленчатого вала - 2300 мин⁻¹, максимальная частота вращения холостого хода, не более

2800 мин⁻¹, максимальный крутящий момент - 664 Нм при частоте вращения коленчатого вала - 1200...1600 мин⁻¹, минимальный удельный расход топлива при номинальной мощности - 220 г/кВт·ч, часовой расход топлива при номинальной мощности - 28 кг/ч, тип топливной аппаратуры CRS BOSCH, максимальное давление впрыска топлива - 200 МПа, максимальное давление наддувочного воздуха - 220 кПа, текущая наработка двигателя - 112 ч.



Рис. 1 – Общий вид диагностируемого двигателя ЯМЗ-53445-22

Регистрация данных происходила дискретно с частотой 35 Гц с использованием измерительного комплекса, который состоял из электронного блока управления двигателем, преобразующего аналоговые сигналы датчиков в цифровой вид, мультимарочного сканера Scanmatik 2 PRO [15], подключенного через разъем OBD II к бортовой системе диагностирования и

передающего данные в цифровом виде на персональный компьютер (рис. 2).

Отображение получаемой информации в режиме онлайн, запись данных и сохранение массива данных в виде таблицы численных значений проводили с использованием программного обеспечения Сканматик, обработку численных данных – программы Microsoft Excel.

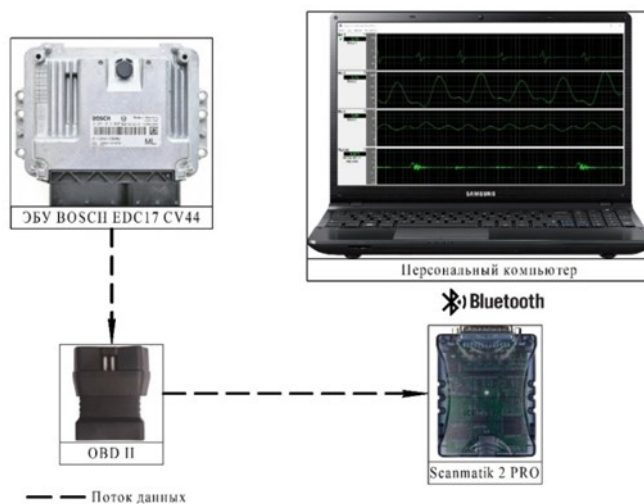


Рис. 2 – Структура измерительного комплекса

При проведении экспериментов регистрировали следующие параметры: положение педали газа, частоту вращения коленчатого вала, общую цикловую подачу (ЦП) топлива, расход топлива, индикаторный крутящий момент (КМ), температуру охлаждающей жидкости и давление наддува воздуха.

Исследования выполняли в следующей последовательности:

запускали двигатель и прогревали его до температуры охлаждающей жидкости 85°C;

останавливали двигатель, отключали зажигание, подключали мультимарочный сканер Scanmatik 2 PRO к разъему OBD II, включали зажигание, запускали программное обеспечение Сканматик, устанавливали соединение с бортовой системой диагностирования двигателя и задавали набор переменных,

необходимых для измерения и записи;

запускали двигатель, устанавливали минимальную частоту вращения коленчатого вала, включали запись контролируемых параметров и осуществляли СР двигателя путем резкого нажатия на педаль газа. При достижении частоты вращения коленчатого вала максимального значения, отключали запись сигналов, отпускали педаль газа и устанавливали минимальную частоту вращения коленчатого вала;

поочередно отключали один из цилиндров путем программного отключения подачи топлива, осуществляли СР двигателя на трех цилиндрах с одновременной фиксацией измеряемых параметров;

обрабатывали полученные данные с последующей их визуализацией и интерпретацией.

При графической визуализации данных за начало отчета принимали момент начала воздействия на педаль газа. В среднем время перевода педали газа от минимального в максимальное положение составляло 0,25 с.

Следует отметить, что величины измеряемых параметров при работе ДВС с поочередным отключением одного из цилиндров во всем диапазоне измерений различались между собой не более чем на 0,6%, что свидетельствует о равномерной работе цилиндров. Поэтому в экспериментальной части для примера представлены данные для работы двигателя с отключенным третьим цилиндром.

Результаты и обсуждение. При работе на всех цилиндрах время разгона двигателя составляло в среднем 1,84 с, отключение третьего цилиндра приводило к его увеличению до 2,64 с (рис. 3).

Максимальная частота вращения КВ на холостом ходу при работе двигателя на всех цилиндрах составила 2754 мин^{-1} , на трех цилиндрах – 2726 мин^{-1} . Время начала изменения частоты вращения коленчатого вала не зависело от количества работающих цилиндров и с начала воздействия на педаль газа составляло 0,13 с.

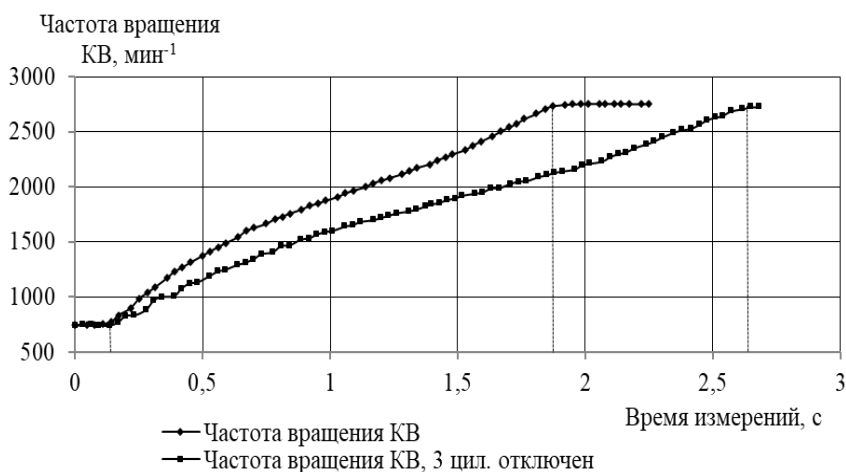


Рис. 3 – Изменение частоты вращения коленчатого вала при работе ДВС в режиме свободного разгона

Время свободного разгона двигателя при работе как на всех, так и с одним отключенным цилиндром, – основной параметр, характеризующий эффективность его работы в заданных условиях. Большая величина этого показателя на всех цилиндрах свидетельствует о низкой эффективности работы ДВС. Наименьшее время разгона ДВС при поочередном отключении одного из цилиндров свидетельствует о наименьшей эффективности работы соответствующего цилиндра.

Ускорение коленчатого вала при работе двигателя на всех цилиндрах изменяется не монотонно, а с максимальной амплитудой 140 с^{-2} (рис. 4). При частоте вращения коленчатого вала $748...1003 \text{ мин}^{-1}$ величина этого показателя изменяется от 0 с^{-2} до 267 с^{-2} , затем уменьшается до 66 с^{-2} при частоте вращения КВ 1850 мин^{-1} и достигает 148 с^{-2} при частоте вращения КВ 2617 мин^{-1} . При достижении частоты вращения коленчатого вала максимального значения 2754 мин^{-1} ускорение КВ равно нулю. Среднее ускорение КВ за цикл

свободного разгона двигателя составляло $103,6 \text{ с}^{-2}$. Работа двигателя в режиме СР при отключенном третьем цилиндре приводила к повышению амплитуды ускорения до 297 с^{-2} . В интервале частоты вращения КВ $739...969 \text{ мин}^{-1}$ ускорение КВ изменялось от 0 до 299 с^{-2} . При дальнейшем увеличении частоты вращения до 1991 мин^{-1} происходило его постепенное уменьшение до 10 с^{-2} . Последующее увеличение ускорения до 143 с^{-2} наблюдали при повышении частоты вращения КВ до 2608 мин^{-1} . Среднее ускорение КВ за цикл СР с отключенным третьим цилиндром составляло $83,5 \text{ с}^{-2}$.

По характеру изменения ускорения КВ можно оценить неравномерность работы цилиндров ДВС. Увеличение его амплитуды характеризует повышение неравномерности работы цилиндров двигателя. По среднему за цикл разгона двигателя ускорению КВ можно оценить эффективность работы ДВС, так как ускорение КВ напрямую характеризует эффективный крутящий момент.

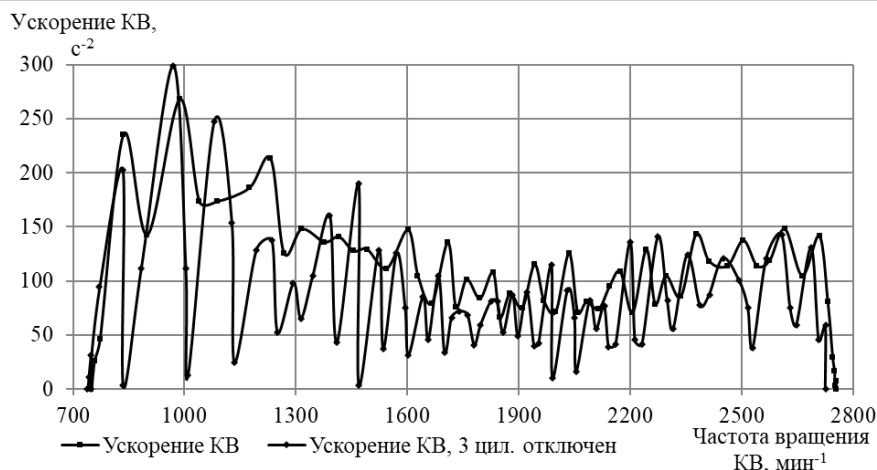


Рис. 4 – Изменение ускорения коленчатого вала при работе ДВС в режиме свободного разгона

Общая ЦП топлива складывается из основной ЦП топлива и ЦП предвпрыска топлива. Общая ЦП в интервале частоты вращения КВ 739...1666 мин⁻¹ при работе двигателя как на всех цилиндрах, так и с одним отключенным цилиндром существенно не отличается (рис. 5). Минимальная величина этого показателя при работе двигателя на всех цилиндрах составляет 8,3 мг/цикл при частоте вращения коленчатого вала 748 мин⁻¹, а при отключении третьего цилиндра - 12 мг/цикл – при частоте вращения 739 мин⁻¹. Максимального уровня общая ЦП топлива достигает в первые мгновения разгона двигателя при частоте вращения КВ 758...771 мин⁻¹ и составляет 62 мг/цикл независимо от числа

работающих цилиндров. При последующем свободном разгоне двигателя на всех цилиндрах общая ЦП топлива сначала снижается до 35,9 мг/цикл при частоте вращения КВ 1710 мин⁻¹, затем постепенно повышается до 47 мг/цикл при частоте вращения КВ 2664 мин⁻¹. При максимальной частоте вращения КВ 2754 мин⁻¹ цикловая подача устанавливается на уровне 25 мг/цикл. При свободном разгоне двигателя с отключенным третьим цилиндром общая ЦП топлива снижается до 37,9 мг/цикл при частоте вращения КВ 1700 мин⁻¹, затем увеличивается до 54 мг/цикл при 2648 мин⁻¹. При максимальной частоте вращения коленчатого вала цикловая подача топлива составляет 31,7 мг/цикл.

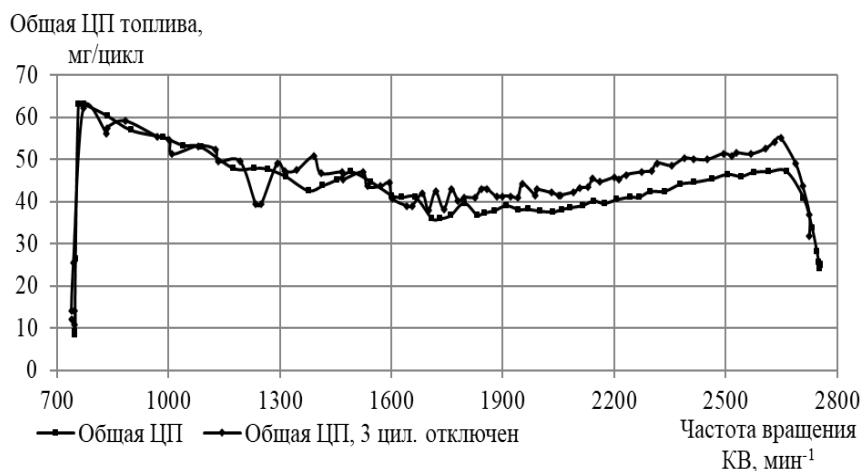


Рис. 5 – Изменение цикловой подачи топлива при работе ДВС в режиме свободного разгона

В целом при снижении эффективности работы двигателя, вызванной в условиях эксперимента отключением одного из цилиндров, общая цикловая подача топлива увеличивается, несмотря на снижение ускорения КВ двигателя. Это связано с тем, что при отключении подачи топлива электронный блок управления двигателем учитывает отключенный цилиндр при расчете общей ЦП топлива, так как системой предусмотрен контроль фактического давления топлива в рейле и заданной для всех

форсунок длительности впрыска без контроля фактической длительности впрыска каждой форсункой.

При разгоне двигателя на всех цилиндрах расход топлива мгновенно увеличивается с 0,9 л/ч при частоте вращения КВ 748 мин⁻¹ до 6,9 л/ч при частоте вращения КВ 773 мин⁻¹, затем плавно повышается до 19,1 л/ч при частоте вращения КВ 2710 мин⁻¹ (рис. 6). При дальнейшем разгоне двигателя до установившейся частоты вращения КВ 2754 мин⁻¹ он

резко снижается до 9,7 л/ч. При отключении третьего цилиндра в начальный момент разгона двигателя расход топлива изменяется с 1,3 л/ч при 739 мин⁻¹ до 6,9 л/ч при 771 мин⁻¹, затем плавно повышается

до 21,6 л/ч по мере увеличения частоты вращения КВ до 2688 мин⁻¹. При дальнейшем разгоне до установившейся частоты вращения КВ 2726 мин⁻¹ расход топлива резко снижается до 13,2 л/ч.



Рис. 6 – Изменение расхода топлива при работе ДВС в режиме свободного разгона

В целом для обеспечения свободного разгона двигателя расход топлива увеличивается при отключении третьего цилиндра. Это объясняется тем, что исходными данными для расчета расхода топлива выступает цикловая подача топлива. Таким образом, повышенный расход топлива в режиме свободного разгона свидетельствуют о снижении эффективности работы двигателя внутреннего сгорания.

Давление наддува воздуха изменяется плавно по мере увеличения частоты вращения коленчатого вала. При работе двигателя на всех цилиндрах оно возрастает со 106,2 до 192,9 кПа при частоте вращения КВ 749...2754 мин⁻¹ (рис. 7). При отключении третьего цилиндра давление наддува

изменяется со 104,9 до 191,6 кПа при частоте вращения КВ 739...2726 мин⁻¹. При частоте вращения КВ более 1500 мин⁻¹ наблюдается запаздывание нарастания давления при работе двигателя на всех цилиндрах относительно работы с отключенным третьим цилиндром в среднем на 11 кПа. Это объясняется тем, что при работе ДВС на трех цилиндрах время разгона двигателя и, соответственно, турбины увеличивается, что способствует повышению частоты вращения ротора турбины. Кроме того, повышение расхода топлива при работе двигателя на трех цилиндрах приводит к увеличению объема выхлопных газов и, соответственно, росту частоты вращения ротора турбины и давления наддува.

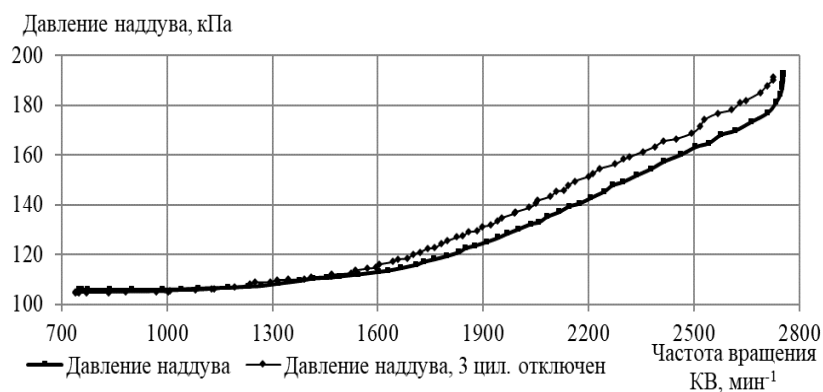


Рис. 7 – Изменение давления наддува воздуха при работе ДВС в режиме свободного разгона

По величине давления наддува воздуха можно оценить техническое состояние системы питания воздухом. Меньшая величина этого показателя характеризует повышенное сопротивление воздушного фильтра и снижение эффективности работы турбины. Большее давление наддува свидетельствует о неисправностях системы рециркуляции отработавших газов.

Исчисленный относительно цикловой подачи топлива индикаторный КМ при СР

двигателя на всех цилиндрах изменяется от 43 до 355 Нм в интервале частоты вращения КВ от 748 до 758 мин⁻¹, затем плавно снижается до 186 Нм при частоте вращения КВ 1850 мин⁻¹ (рис. 8). При дальнейшем разгоне ДВС индикаторный КМ увеличивается до 248 Нм при частоте вращения КВ 2710 мин⁻¹ и резко снижается до 132 Нм при установившейся частоте вращения КВ 2752 мин⁻¹. Отключение третьего цилиндра приводит к увеличению индикаторного КМ в начальный

период разгона с 63 до 354 Нм при изменении частоты вращения КВ с 739 до 744 мин⁻¹, затем плавному снижению до 191 Нм при частоте вращения КВ 1700 мин⁻¹. Последующий разгон ДВС на трех цилиндрах

сопровождается повышением индикаторного крутящего момента до 291 Нм при частоте вращения КВ 2648 мин⁻¹ и резким снижением индикаторного КМ до 162 Нм при установившейся частоте вращения КВ 2726 мин⁻¹.

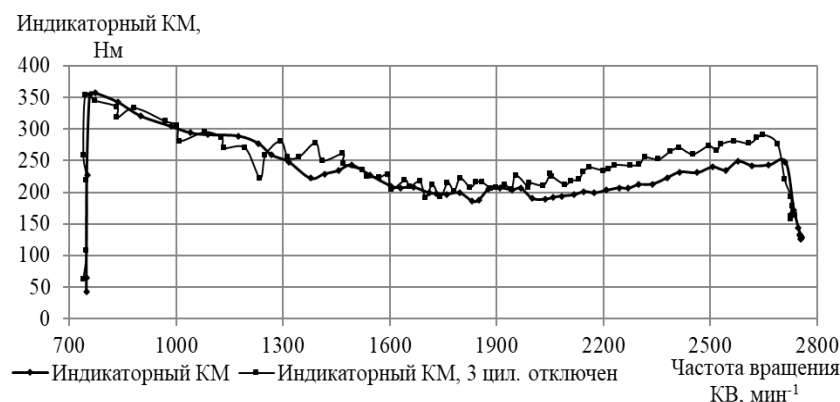


Рис. 8 – Изменение индикаторного крутящего момента при работе ДВС в режиме свободного разгона

В целом в условиях эксперимента индикаторный КМ при отключении третьего цилиндра увеличивался. Это объясняется тем, что величина этого показателя напрямую зависит от цикловой подачи топлива. Так как при отключении третьего цилиндра

увеличение индикаторного КМ не приводит к повышению ускорения коленчатого вала, то его использование в качестве диагностического параметра для оценки эффективности работы двигателя в режиме СР нецелесообразно.

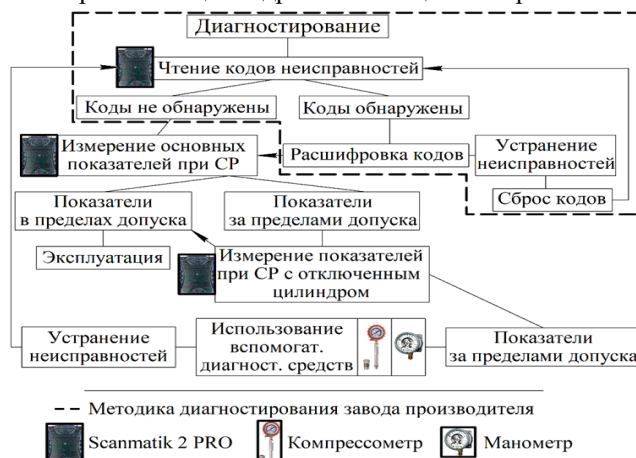


Рис. 9 – Блок-схема алгоритма диагностирования двигателя ЯМЗ-53445-22

На основании проведенных исследований предложена методика диагностирования двигателя ЯМЗ-53445-22, которая предусматривает анализ неисправностей, установленных встроенной системой диагностирования, и последующее их устранение. При отсутствии установленных встроенной системой диагностирования неисправностей, либо невозможности их идентификации, работу двигателя выводят в режим свободного разгона и одновременно измеряют время разгона КВ, общую цикловую подачу топлива, расход топлива и давление наддува воздуха. По результатам измерений строят зависимости изменения частоты вращения КВ от времени разгона, а также ускорения КВ, общей ЦП топлива, расхода топлива и давления наддува воздуха от частоты вращения КВ и сравнивают их с эта-

лонными. В случае совпадения двигатель направляют в эксплуатацию, при отклонении полученных зависимостей от эталонных проводят дополнительные измерения времени свободного разгона коленчатого вала при очередном отключении одного из цилиндров, устанавливают наименьшее время разгона двигателя на трех цилиндрах и принимают отключенный цилиндр как наименее эффективно работающий, оценку технического состояния которого проводят с использованием вспомогательных диагностических средств. По результатам диагностирования установленные неисправности устраняют, повторяют измерения перечисленных величин в режиме СР двигателя на всех цилиндрах, сравнивают полученные зависимости с эталонными и делают вывод о работоспособности двигателя. В

случае, если время разгона КВ двигателя при поочередном отключении одного из цилиндров равно между собой, а время разгона двигателя на всех цилиндрах меньше эталонного, с использованием вспомогательных диагностических средств проводят оценку технического состояния каждого цилиндра.

Выводы. Работоспособность ДВС ЯМЗ-53445-22 с топливной системой Common Rail можно оценить по времени свободного разгона, ускорению коленчатого вала, общей цикловой подаче топлива, расходу топлива и давлению наддува.

Время свободного разгона коленчатого вала технически исправного двигателя при работе на всех цилиндрах составляет 1,84 с, с одним отключенным цилиндром – 2,64 с. Большее время разгона ДВС свидетельствует о меньшей эффективности его работы.

Среднее ускорение КВ за цикл свободного разгона при работе на всех цилиндрах составляет $103,6 \text{ с}^{-2}$, с отключенным третьим цилиндром – $83,5 \text{ с}^{-2}$. Отключение одного цилиндра приводит к увеличению амплитуды ускорения со 140 с^{-2} до 297 с^{-2} . Большее ускорение коленчатого вала свидетельствует о высокой эффективности работы двигателя, меньшая амплитуда ускорения – о меньшей неравномерности работы цилиндров. Большее ускорение КВ при свободном разгоне двигателя с поочередным отключением цилиндров указывает на меньшую эффективность работы соответствующего отключенного цилиндра.

Отключение одного цилиндра при свободном разгоне ДВС приводит к повышению расхода топлива с 19,1 л/ч до 21,6 л/ч при частоте

вращения КВ $2648...2710 \text{ мин}^{-1}$, что связано с увеличением общей ЦП топлива с 47 до 54 мг/цикл при аналогичной частоте вращения КВ. При частоте вращения КВ более $1500...2733 \text{ мин}^{-1}$ наблюдается запаздывание нарастания давления наддува воздуха при работе двигателя на всех цилиндрах относительно работы с отключенным третьим цилиндром в среднем на 11 кПа.

При отключении третьего цилиндра в режиме свободного разгона ДВС индикаторный КМ увеличивается с 248 Нм до 291 Нм в интервале частоты вращения КВ $2648...2710 \text{ мин}^{-1}$. Величина этого показателя определяется встроенной системой диагностирования относительно общей цикловой подачи топлива, не характеризует изменение ускорения КВ и не может быть принята в качестве диагностического параметра при определении эффективного крутящего момента двигателя.

На основе полученных экспериментальных данных разработана методика диагностирования двигателя ЯМЗ-53445-22 в режиме свободного разгона. Предложенная методика позволяет комплексно оценивать техническое состояние двигателя по результатам анализа неисправностей, установленных встроенной системой диагностирования и на основании измерения времени разгона ДВС, ускорения КВ, общей ЦП топлива, расхода топлива и давления наддува воздуха.

Полученные результаты можно использовать при разработке способа оперативного контроля эффективного крутящего момента и мощности двигателя в процессе свободного разгона.

Литература

1. Stability analysis upon high-pressure common rail fuel injection system under multiple injection modes / Q. Lan, Y. Bai, X. Ma, et al. // International Journal of Automotive Technology. 2021. Vol. 22. P. 353-370.
2. Обоснование сроков ремонта и службы тракторов в аграрном производстве / И. Г. Галиев, Р. М. Гимадиев, А. Р. Галимов и др. // Проблемы научной мысли. 2018. Т. 5. № 3. С. 19–25.
3. Разработка метода встроенного контроля выпускной системы современных сельскохозяйственных машин / А. В. Гриценко, А. С. Меньшенин, С. А. Чоккой и др. // АПК России. 2022. Т. 29. № 5. С. 614-628. doi: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-614-628.
4. Ferrari A., Vento O. Thermal effects on Common Rail injection system hydraulic performance // International Journal of Engine Research. 2023. Vol. 24. No. 8. P. 3602-3612. doi: 10.1177/14680874231162412
5. Ma F., Li L., Pu Y. Study on observation method of injection pressure curve in high pressure common rail system // International Journal of Engine Research. 2023. Vol. 24. No. 7. P. 3146-3156.
6. Курносоев А. Ф., Гуськов А. Ю. Совершенствование методики диагностирования дизельного двигателя с электронной системой управления // Теория и практика современной аграрной науки: сборник VI национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. С. 537-540.
7. Двигатели ЯМЗ-5340, ЯМЗ-536, их модификации и комплектации. Инструкция по диагностике. 5340.3902250 ИС. 2018. 177 с.
8. Оценка технического состояния электроуправляемых форсунок дизелей по характеристике топливоподачи / И. И. Габитов, А. В. Неговора, Ф. Р. Сафин и др. // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 2. С. 207-226. doi: 10.15507/2658-4123.031.202102.207-226.
9. Кострицкий В. В., Павченко А. В. Диагностирование дизельных топливных форсунок с пьезоэлектрическим приводом без снятия с двигателя // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2021. № 3. С. 49-54.
10. Justification for Widening the Control Parameters Limits of Diesel Fuel Injectors During Repair / I. I. Gabitov, A. V. Negovora, A. F. Ahmetov, et al. // International Review of Automatic Control. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 70-89.
11. Динамический метод диагностирования элементов автомобиля / А. С. Гребенников, С. А. Гребенников, И. Ю. Куверин // Мир транспорта и технологических машин. 2016. № 1(52). С. 24-31.
12. Modeling and validation of crankshaft speed fluctuations of a single-cylinder four-stroke diesel engine. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers / M. Babagiray, H. Solmaz, D. İpci, et al. // Journal of Automobile Engineering. 2022. Vol. 236. No. 4. P. 553-568. doi: 10.1177/09544070211026290.

13. Effects of misfire on the dynamic behavior of gasoline Engine Crankshafts / A. Hmida, A. Hammami, F. Chaari, et al. // *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 121. URL: <https://clck.ru/3BW9MU> (дата обращения 26.06.2024). doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.105149.

14. Курносов А. Ф., Гуськов А. Ю. Совершенствование методики диагностирования системы питания дизельного двигателя в режиме разгона-выбега под нагрузкой // *Теория и практика современной аграрной науки: сборник VI национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием*, Новосибирск, 27 февраля 2023 года. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2023. С. 525-530.

15. ООО "Скансервис": официальный сайт. URL: [http:// scanmatik.ru](http://scanmatik.ru) (дата обращения 01.09.2023).

Сведения об авторе:

Курносов Антон Федорович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, e-mail: anton_kurnosov@mail.ru
Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Россия

IMPROVEMENT OF DIAGNOSTICS METHODOLOGY OF DIESEL ENGINE WITH COMMON RAIL FUEL SYSTEM IN FREE ACCELERATION MODE

A. F. Kurnosov

Abstract. Improving the operating efficiency of modern transportation and technological machines for agricultural purposes is impossible to achieve without timely engine diagnostics. Experimental studies were carried out to improve the methodology of diagnostics of diesel engine YaMZ-53445-22 with Common Rail fuel system by evaluating the complex of diagnostic parameters during free acceleration of the engine from minimum to maximum crankshaft speed. The time of free acceleration of the engine when working on all cylinders is 1.84 sec., with the third cylinder disconnected - 2.54 sec. Disconnection of the third cylinder leads to an increase in the amplitude of acceleration from 140 s^{-2} to 297 s^{-2} , which indicates an increase in the non-uniformity of cylinder operation. The total cyclic fuel supply and fuel consumption increases when one of the cylinders is disconnected, which indicates that the electronic control unit incorrectly calculates the actual cyclic fuel supply. At switching off one of the cylinders, the indicator torque, calculated programmatically relative to the total cycle fuel supply, increases from 243 to 291 Nm at a crankshaft speed of 2630 min^{-1} , while the effective engine performance using the existing means of measurement can not be determined. The developed methodology of diagnostics YaMZ-53445-22 engine in the free acceleration mode implies the assessment of technical condition of the engine based on the analysis of faults detected by the built-in system of diagnostics, as well as by acceleration time, crankshaft acceleration, total cycle fuel supply, fuel consumption and air boost pressure.

Keywords: internal combustion engine, free acceleration, crankshaft acceleration, cycle fuel supply, fuel consumption, air boost pressure, indicator torque.

References

- Lan Q., Bai Y., Ma X. Stability analysis upon high-pressure common rail fuel injection system under multiple injection modes. *International Journal of Automotive Technology*. 2021; Vol.22. 353-370 p.
- Galiev IG, Gimadiev RM, Galimov AR. [Justification of the terms of repair and service of tractors in agricultural production]. *Problemy nauchnoy mysli*. 2018; Vol.5. 3. 19-25 p.
- Gritsenko AV, Menshenin AS, Chokoy SA. [Development of a method for integrated control of the exhaust system of modern agricultural machines]. *APK Rossii*. 2022; Vol.29 5. 614-628 p. - DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-614-628.
- Ferrari A, Vento O. Thermal effects on Common Rail injection system hydraulic performance. *International Journal of Engine Research*. 2023; Vol.24. 8. 3602-3612 p. doi:10.1177/14680874231162412 .
- Ma F, Li L, Pu Y. Study on observation method of injection pressure curve in high pressure common rail system. *International Journal of Engine Research*. 2023; Vol.24. 7. 3146-3156 p.
- Kurnosov AF, Guskov AYu. [Improving the methodology for diagnosing a diesel engine with an electronic control system]. *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki: Sbornik VI natsionalnoy (vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Novosibirsk. ITS NGAU Zolotoy kolos. 2023; 537-540 p.
- Dvigateli JaMZ-5340, JaMZ-536, ih modifikacii i komplektacii. *Instrukcija po diagnostike*. [Engines YaMZ-5340, YaMZ-536, their modifications and configurations. Diagnostic instructions]. 5340.3902250 IS. 2018; 177 p.
- Gabitov II, Negovora AV, Safin FR. [Assessment of the technical condition of electrically controlled diesel injectors according to the fuel supply characteristics]. *Inzhenerye tehnologii i sistemy*. 2021; Vol.31. 2. 207-226 p. - DOI: 10.15507/2658-4123.031.202102.207-226.
- Kostritskiy VV, Pavchenko AV. [Diagnostics of diesel fuel injectors with piezoelectric drive without removal from the engine]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost. Prikladnye nauki*. 2021; Vol.3. 49-54 p.
- Gabitov II, Negovora AV, Akhmetov AF. Justification for widening the control parameters limits of diesel fuel injectors during repair. *International Review of Automatic Control*. 2022; Vol.15. 2. 70-89 p.
- Grebennikov AS, Grebennikov SA, Kuverin IYu. [Dynamic method of diagnosing car elements]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2016; 1(52). 24-31 p.
- Babagiray M, Solmaz H, Ipci D. Modeling and validation of crankshaft speed fluctuations D. of a single-cylinder four-stroke diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Automobile Engineering*. 2022; Vol.236. 4, 553-568 p. <https://doi.org/10.1177/09544070211026290>.
- Hmida A, Hammami A, Chaari F. Effects of misfire on the dynamic behavior of gasoline Engine Crankshafts. [Internet]. *Engineering Failure Analysis*. 2021; Vol.121. [cited 2024, June 26]. Available from: <https://clck.ru/3BW9MU>. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105149.
- Kurnosov AF, Guskov AYu. [Improving the methodology for diagnosing the diesel engine power system in the acceleration-run-out mode under load]. *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki: Sbornik VI natsionalnoy (vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Novosibirsk, 27 fevralya 2023 goda. Novosibirsk: ITS NGAU Zolotoy kolos. 2023; 525-530 p.
- ООО Skanservis. [Internet]. Official site. Korolev, 2023; [cited 2023, September 01]. Available from: [http:// scanmatik.ru](http://scanmatik.ru).

Author:

Kurnosov Anton Fedorovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Machine Tractor Fleet Operation, e-mail: anton_kurnosov@mail.ru
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia.