

Научная статья

УДК 621.436:681.518.5

EDN FFIVCH

Концептуальная модель диагностической системы для оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания

Антон Федорович Курносов¹, Юрий Александрович Гуськов²^{1,2} Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирская область, Новосибирск, Россия

¹ anton_kurnosov@mail.ru, ² iinsau@yandex.ru

Аннотация. Предложена концептуальная модель диагностической системы для оценки технического состояния, на основе которой можно определить пути реализации нового подхода при проектировании встроенных информационных измерительных систем контроля за функциональными характеристиками двигателя внутреннего сгорания. С помощью установленных функциональных связей возможен переход к алгоритмизации изучаемой диагностической системы для разработки в дальнейшем научных и технологических основ ее применения. Апробация элементов нового подхода, предложенного на основе концептуальной модели, проводилась при экспериментальных исследованиях изменения параметров свободного выбега двигателя ЯМЗ-53445-22. В результате установлено, что время выбега двигателя составляет в среднем 3,2 с; за это время частота вращения коленчатого вала изменяется с 2 751 мин⁻¹ до 709 мин⁻¹. Ускорение коленчатого вала двигателя находится в пределах от минус 138 с² до 0 с². Величина реакций опор в процессе выбега изменяется с 402 Н при частоте вращения коленчатого вала 2 663 мин⁻¹ до нуля при 709 мин⁻¹. Максимальное значение крутящего момента в процессе выбега составляет минус 234 Нм при частоте вращения коленчатого вала 2 663 мин⁻¹. Мощность механических потерь, исчисленная относительно текущего значения величины крутящего момента на опорах и соответствующего значения частоты вращения коленчатого вала, изменяется от минус 63 кВт до нуля при аналогичном изменении частоты вращения коленчатого вала. Разработанный на основе концептуальной модели алгоритм получения диагностической информации обеспечивает отражение совокупности входных воздействий на систему, состояний и взаимосвязи элементов системы, что говорит о высокой информативности измеряемых параметров.

Ключевые слова: диагностическая система, концептуальная модель, контроль характеристик двигателя внутреннего сгорания, информационная измерительная система

Для цитирования: Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А. Концептуальная модель диагностической системы для оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 185–196.

Original article

Conceptual model of a diagnostic system for assessing technical condition of internal combustion engine

Anton F. Kurnosov¹, Yuriy A. Guskov²^{1,2} Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia¹ anton_kurnosov@mail.ru, ² iinsau@yandex.ru

Abstract. A conceptual model of a diagnostic system for assessing the technical condition is proposed, on the basis of which it is possible to determine the ways of implementing a new approach in the design of integrated information measuring systems for monitoring the functional characteristics of the internal combustion engine (hereinafter referred to as ICE). With the help of established functional connections, it is possible to make a transition to the algorithmization

of the diagnostic system under study for further development of the scientific and technological foundations of its application. Approbation of the proposed conceptual model was carried out by experimental studies of changes in the parameters of the free run-out of the YAMZ-53445-22 engine. As a result, it was found that the engine run-out time is on average 3,2 seconds, during which time the crankshaft rotation speed changes from $2\,751\text{ min}^{-1}$ to 709 min^{-1} . The engine crankshaft acceleration ranges from minus 138 s^2 to 0 s^2 . The magnitude of the reactions of the supports during the run-out changes from 402 H at a speed of rotation of the crankshaft $2\,663\text{ min}^{-1}$ to 0 H at 709 min^{-1} . The maximum value of the torque during the run-out is minus 234 Nm at a speed of rotation of the crankshaft $2\,663\text{ min}^{-1}$. The power of mechanical losses calculated relative to the current value of the torque on the supports and the corresponding value of the crankshaft rotation frequency varies from minus 63 kW to zero with a similar change in the crankshaft rotation frequency. The developed conceptual model takes into account the totality of input effects on the system, the states of the system elements and the relationship of the system elements, which is confirmed by the experimental data obtained.

Keywords: diagnostic system, conceptual model, control of internal combustion engine characteristics, information measuring system

For citation: Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Conceptual model of a diagnostic system for assessing technical condition of internal combustion engine. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2023;17;4:185–196 (in Russ.).

Введение. В периоды проведения сельскохозяйственных работ требуется высокий коэффициент технической готовности самоходных машин; вероятность отказов должна быть минимальной, так как от этого зависит своевременность доставки рабочего персонала, запасных частей, ритмичность уборочных работ и других производственных процессов [1–3].

Эффективность использования самоходных машин в сельскохозяйственном производстве в значительной степени определяется работоспособностью двигателя внутреннего сгорания (ДВС), являющегося самым дорогостоящим и трудоемким в изготовлении, ремонте и техническом обслуживании агрегата [4–6]. Своевременное определение признаков снижения параметров его работы и получение достоверных диагностических данных позволяют прогнозировать остаточный моторесурс и принимать решение о проведении профилактических или ремонтных мероприятий [7–9].

С развитием современного диагностического оборудования возможна реализация новых методов контроля технического состояния ДВС, которые позволят сократить затраты труда и материальных ресурсов за счет сокращения разборочно-сборочных работ, а также повысить информативность диагноза при контроле.

Встроенные в современные самоходные машины технические системы определения эксплуатационных показателей

неприемлемы в целях прогнозирования технического состояния ДВС [10]. С другой стороны, как показал анализ существующих технических решений и новых возможностей элементной базы, разработаны принципиально новые первичные преобразователи и информационные измерительные системы по контролю за функциональными характеристиками, а также цифровые методы передачи и обработки данных для их определения, что открывает новые возможности для внедрения цифровых диагностических систем [11].

Цель исследования – разработать концептуальную модель диагностической системы технического состояния двигателя внутреннего сгорания на основе оценки единого диагностического параметра.

Материалы и методы исследования. При создании новых и совершенствовании существующих диагностических систем в ряде случаев возникают задачи, связанные как с оценкой предлагаемых к использованию новых принципов и закономерностей, так и с выбором наилучшего сочетания значений параметров исследуемого объекта. Решение таких задач требует знания множества характеристик и особенностей объекта в зависимости от внешних условий и многих других факторов. В этих целях анализируемый объект рассматривают либо как целостный неделимый компонент, либо как совокупность взаимосвязанных частей. В первом случае к объектам подходят как к «черным ящи-

кам», а во втором у объектов анализируются свойства их компонентов во взаимосвязи с точки зрения соответствия их функционирования общей цели на основе системных подходов.

При функциональном подходе диагностическая система для оценки технического состояния ДВС может быть описана тремя векторами, изменяющимися во времени:

1. Вектор состояния входов:

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

2. Вектор состояния выходов:

$$Y_i = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

3. Вектор внутренних состояний:

$$Z_i = (z_1, z_2, \dots, z_k)$$

Между векторами существует связь, определяемая в обобщенном виде следующим образом:

$$Y_t = F(X_t, Z_t, t) \tag{1}$$

где F – некоторая функция;
 t – время.

В зависимости от концептуальных представлений о структуре моделируемой системы анализируемый процесс обычно представляют в виде некоторой совокупности частных процессов и вместо выра-

жения (1) оперируют совокупностью выражений вида (2):

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= f_1(x_1 \dots x_n, z_1 \dots z_r, u_1 \dots u_m, t) \\ Y_2 &= f_2(x_1 \dots x_n, z_1 \dots z_r, u_1 \dots u_m, t) \\ &\dots \\ Y_k &= f_k(x_1 \dots x_n, z_1 \dots z_r, u_1 \dots u_m, t) \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

где $f_1 \dots f_k$ – функции связей выхода системы;
 $x_1 \dots x_n$ – входные воздействия на систему;
 $z_1 \dots z_r$ – состояния элементов системы;
 $u_1 \dots u_m$ – взаимосвязи элементов системы.

Наполняя описанные векторы содержанием с помощью функций $Y_1 \dots Y_k$, пошагово воспроизводя изменения величин $u_1 \dots u_m$, $x_1 \dots x_n$ и $z_1 \dots z_r$ во времени и взаимосвязи между собой, можно прийти к описанию функционирования системы.

Выражение вида (1) дает все основные сведения о функционировании системы. Однако аналитическое представление таких зависимостей во многих случаях является задачей весьма сложной. Поэтому исследователи вынуждены обратиться к поиску наиболее приемлемого инструмента для описания изучаемой модели сложного объекта.

Апробацию элементов при реализации нового подхода проводили на дизельном двигателе (рис. 1), установленном на автомобиле ГАЗ-САЗ-2507.

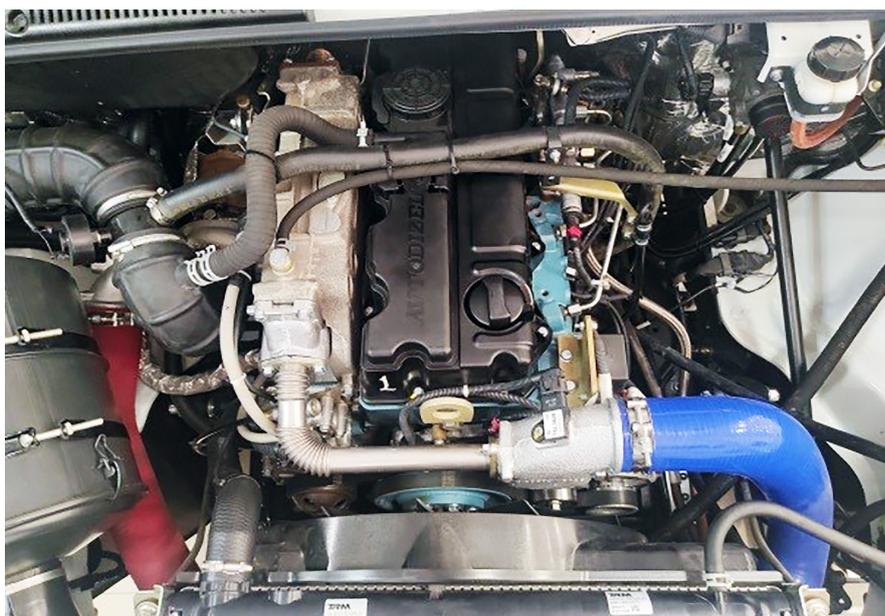


Рисунок 1 – Двигатель ЯМЗ-53445-22
 Figure 1 – YAMZ-53445-22 engine

В переднюю правую и заднюю правую опоры устанавливали тензометрические датчики К-Р-16А (рис. 2, 3), аналоговый сигнал от которых поступал на преобразователь сигнала КСК1. Преобразование сигнала в цифровой вид происходило в блоке автомобильной диагностики АМД-4Д. Регистрация текущих параметров технического состояния двигателя осуществлялась путем считывания показателей из электронного блока управления через разъем OBDII мультимарочным сканером Scanmatik 2 PRO.

Синхронизация данных от блока автомобильной диагностики и мультимарочного сканера проходила по времени измерений относительно момента изменения положения педали акселератора, сигнал от которой поступал в блок автомобильной диагностики посредством шупа Диамаг 2 и в мультимарочный сканер. Регистрация данных происходила дискретно с частотой 35 Гц. Запись и хранение данных проводились с помощью персонального компьютера. Обработка полученных численных данных выполнялась в программе Microsoft Excel.

Порядок проведения экспериментов:

1. Пуск и прогрев двигателя до рабочей температуры охлаждающей жидкости и масла.

2. Включение и прогрев измерительного комплекса.

3. Вывод двигателя в режим свободного выбега с максимальной частотой вращения коленчатого вала путем резкого прекращения подачи топлива в цилиндр за счет перевода педали акселератора в свободное положение с одновременной регистрацией показателей: частота вращения коленчатого вала, давление топлива в рейле, цикловая подача топлива, реакции опор.

Результаты исследования и их обсуждение. Концептуальная модель может быть построена на основе динамической модели системы «КШМ – маховик» и представлена на рисунке 4. Рассмотрим моменты, действующие в ДВС на режиме холостого хода.

В результате взаимодействия индикаторного момента M_i и момента механических потерь M_{mp} образуется их разность, результирующая которой представляет собой эффективный крутящий момент двигателя (M_e), равный динамическому моменту, определяемому формулой (3):

$$M_e = M_{mp} = Id\omega/dt \quad (3)$$

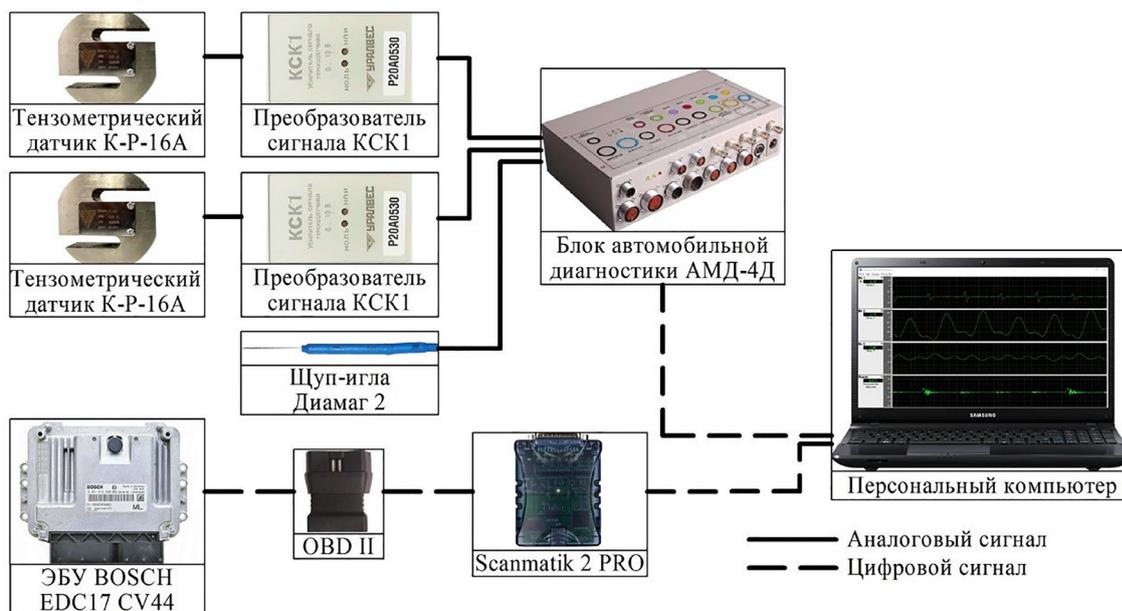
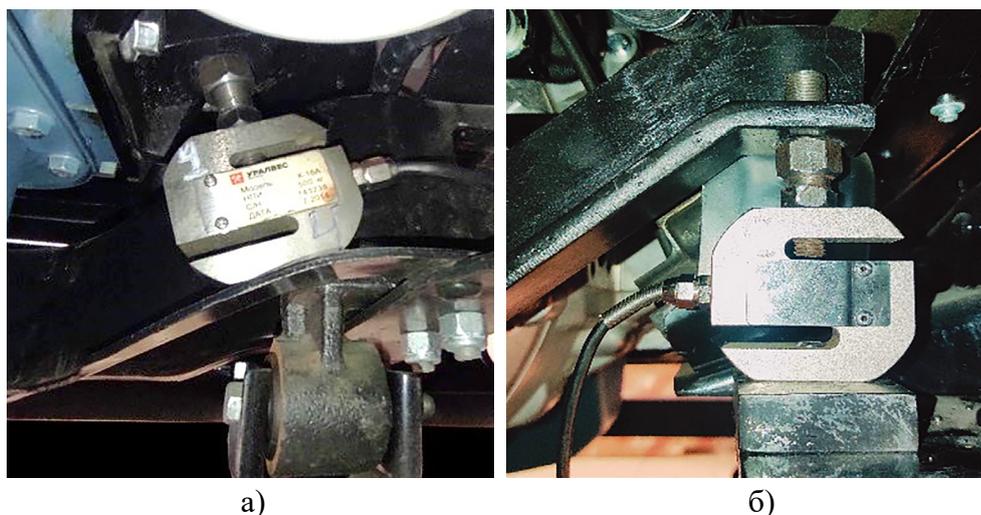
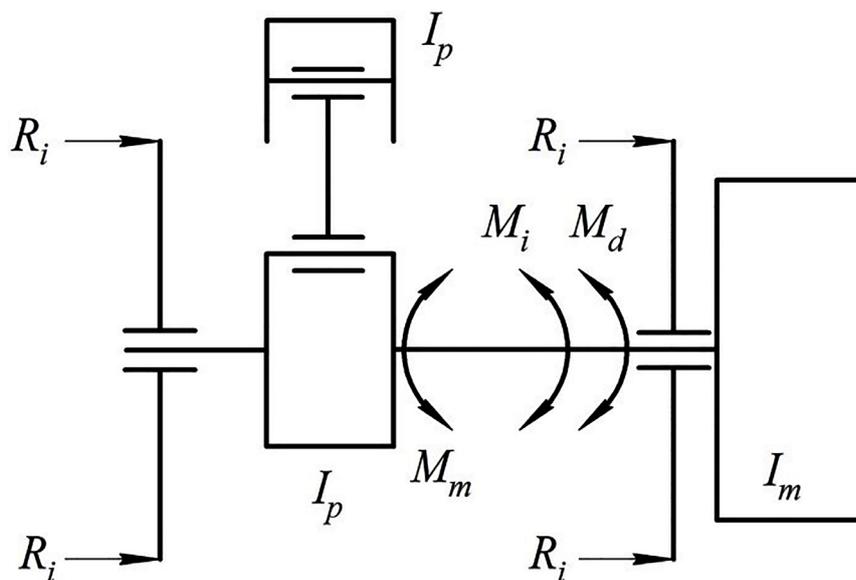


Рисунок 2 – Структура измерительного комплекса
Figure 2 – Structure of the measuring complex



а) правая передняя опора; б) правая задняя опора
Рисунок 3 – Места крепления тензометрических датчиков на опоры двигателя ЯМЗ-53445-22
Figure 3 – Mounting points of strain gauges on the supports of the YAMZ-53445-22 engine



I_p – момент инерции поступательно движущихся масс КШМ, приведенный к коленчатому валу; I_v, I_m – моменты инерции вращающихся масс КШМ и маховика;
 M_i – индикаторный момент; M_m – момент механических потерь;
 M_d – динамический момент; R_i – реакция на опоре двигателя

Рисунок 4 – Динамическая модель системы «кривошипно-шатунный механизм – маховик»
Figure 4 – Dynamic model of the "crank mechanism – flywheel" system

На холостом ходу двигателя среднее значение угловой скорости коленчатого вала постоянно, а угловое ускорение равно $d\omega/dt = 0$. В этом случае уравнение равновесия приложенных к коленчатому валу моментов выражается уравнением динамики ДВС (4):

$$M_e = M_i - M_{mp} = I(d\omega/dt) = 0 \quad (4)$$

Тогда $M_j = M_{mp}$ и на холостом ходу индикаторный момент двигателя затрачивается на преодоление момента механических потерь, величина которого на пониженных скоростных режимах имеет небольшое значение; при этом изменение величины реакции R_i на опорах двигателя будут также минимальные.

При резком изменении скорости вращения коленчатого вала ($\varepsilon \neq 0$) (примем состояние системы как Y_k) на опорах двигателя возникнет реакция $R_i = F(Y_k)$, означающая, что изучаемую диагностическую систему ДВС можно рассматривать как замкнутую, приведенную к практически единственному выходному диагностическому параметру R_i (рис. 5).

Безусловно, приведенная последовательность является в определенной степени условной, и на практике при реализации это будет сложный итеративный процесс [12], допускающий возврат к предыдущим этапам и их повторное проведение, однако обобщенно формализованное представление позволяет осуществить переход от технологического толкования возможного множества диагностических

систем к их обобщенному функционально-алгоритмическому описанию.

В качестве примера проведем экспериментальные измерения изменения частоты вращения коленчатого вала от времени выбега, а также величины крутящего момента и мощности механических потерь двигателя от частоты вращения коленчатого вала в процессе свободного выбега.

По результатам экспериментальных данных установлено, что время свободного выбега двигателя составляет 3,2 с. За это время частота вращения коленчатого вала плавно снижается с уровня 2 751 до 709 мин⁻¹ (рис. 6). Давление топлива в рейле снижается ступенчато: сначала с уровня 1 346 до 956 кгс/см² за первые 0,717 с выбега, затем с 974 до 383 кгс/см² в интервале времени выбега 1,17–3,2 с.

Это связано с тем, что электронный блок управления двигателем прекращает процесс снижения давления топлива и в период с 0,717 до 1,17 с оценивает текущие диагностические параметры двигателя. Убедившись, что педаль акселератора находится в свободном положении, электронный блок управления продолжает уменьшать давление топлива.

Цикловая подача топлива (рис. 7) снижается с 25,92 до 0 мг/цикл за первые 0,11 с выбега и поддерживается на нулевом уровне до конца цикла выбега. Ускорение коленчатого вала изменяется не монотонно со средним размахом 39 с². Причем за первые 0,187 с выбега ускорение изменяется от 0 до минус 138 с², затем оно постепенно достигает значения минус 54 с² на 3,12 с выбега. В конце цикла выбе-

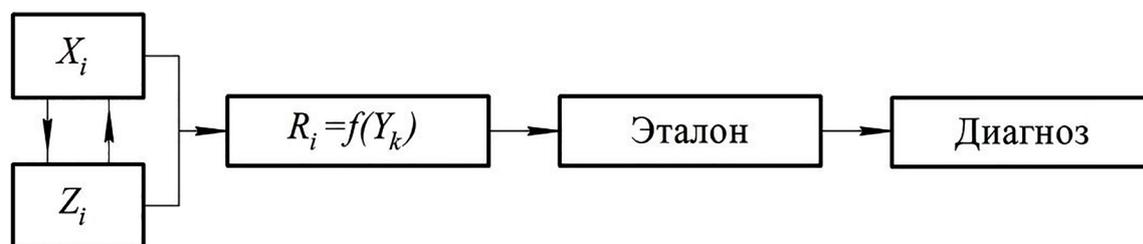


Рисунок 5 – Концептуальная модель диагностической системы ДВС
Figure 5 – Conceptual model of the internal combustion engine diagnostic system

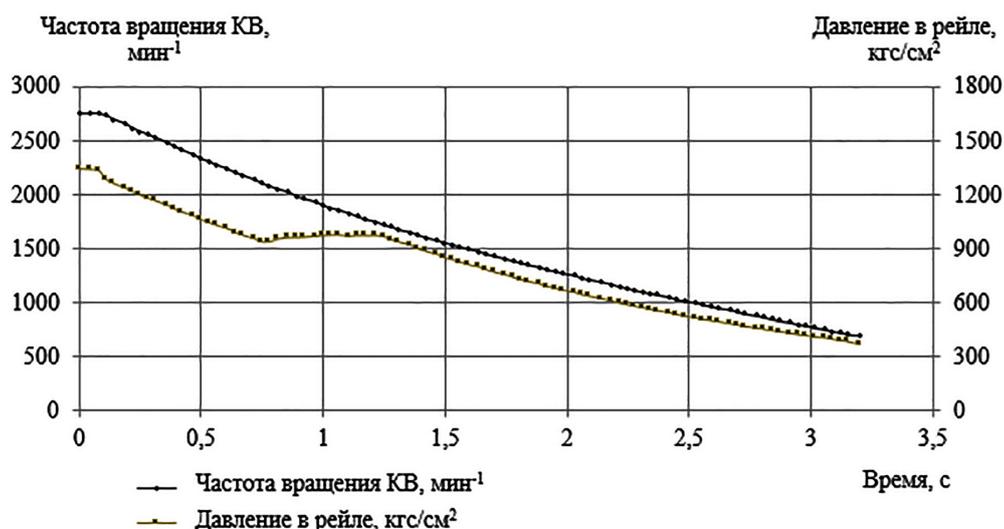


Рисунок 6 – Изменение частоты вращения коленчатого вала и давления топлива в рейле в процессе свободного выбега двигателя

Figure 6 – Change in the speed of the crankshaft and fuel pressure in the rail during the free run-out of the engine

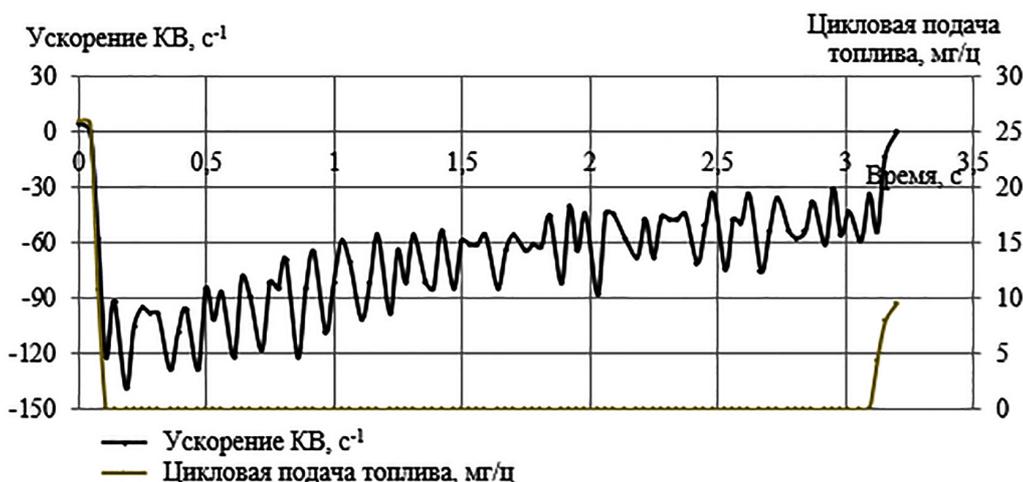


Рисунок 7 – Изменение ускорения коленчатого вала и цикловой подачи топлива в режиме свободного выбега двигателя

Figure 7 – Change in the acceleration of the crankshaft and the cyclic fuel supply in the free run-out mode of the engine

га ускорение коленчатого вала принимает нулевое значение за счет увеличения цикловой подачи топлива от 0 до 9,58 мг.

Суммарные реакции опор двигателя в режиме свободного выбега изменяются также не монотонно (рис. 8). Если в начале цикла выбега при частоте вращения коленчатого вала 2 751 мин⁻¹ размаха реакций опор практически не наблюдается, то в конце цикла выбега при изменении

частоты вращения коленчатого вала в диапазоне 960–709 мин⁻¹ размах реакций достигает 1 270 Н.

Это связано с тем, что в процессе выбега на блок цилиндров двигателя оказывает периодическое силовое импульсное действие со стороны кривошипно-шатунного механизма. В результате в конце выбега частота собственных колебаний блока цилиндров двигателя совпадает с

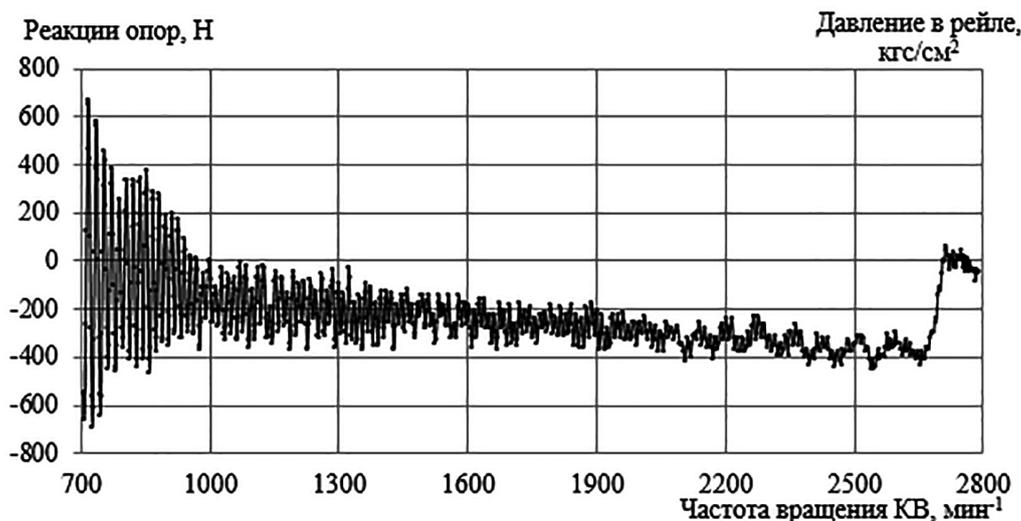


Рисунок 8 – Изменение суммарных реакций опор двигателя в процессе свободного выбега

Figure 8 – Change in the total reactions of the engine supports during the free run-out

частотой силового импульсного действия кривошипно-шатунного механизма, образуя резонансные явления.

Выбег сопровождается изменением реакций опор от нуля до минус 402 Н при снижении частоты вращения коленчатого вала от 2 751 до 2 663 мин⁻¹ (рис. 8). По мере снижения частоты вращения коленчатого вала с 2 663 до 960 мин⁻¹ величина реакций опор изменяется в среднем от 402 до 196 Н. При последующем снижении частоты вращения коленчатого вала до уровня 709 мин⁻¹, несмотря на большой размах,

средние значения реакций опор достигают нулевого значения.

Крутящий момент на опорах в процессе свободного выбега двигателя изменяется аналогично реакциям опор. Наибольший размах значений также наблюдается при минимальной частоте вращения коленчатого вала в конце выбега и достигает 760 Нм. Максимальный крутящий момент на опорах наблюдается в начале выбега при частоте вращения коленчатого вала 2 663 мин⁻¹ и составляет минус 234 Нм. При последующем снижении ча-

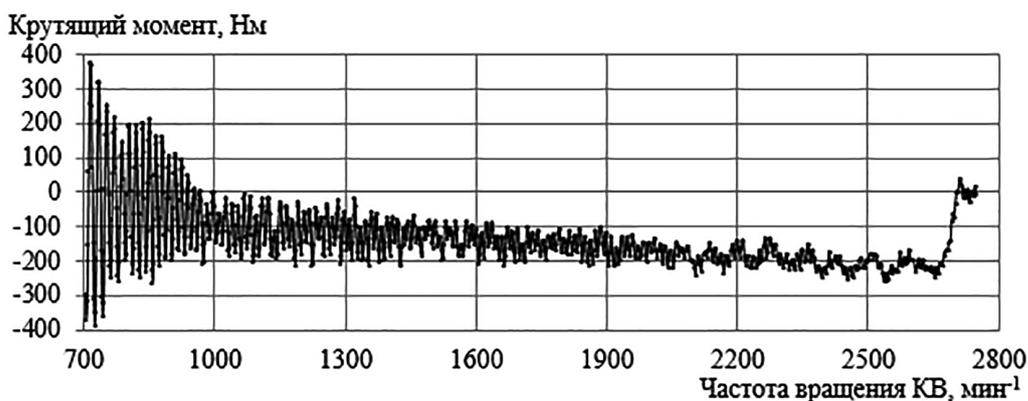


Рисунок 9 – Изменение крутящего момента на опорах в процессе свободного выбега

Figure 9 – Change of the torque on the supports during the free run-out

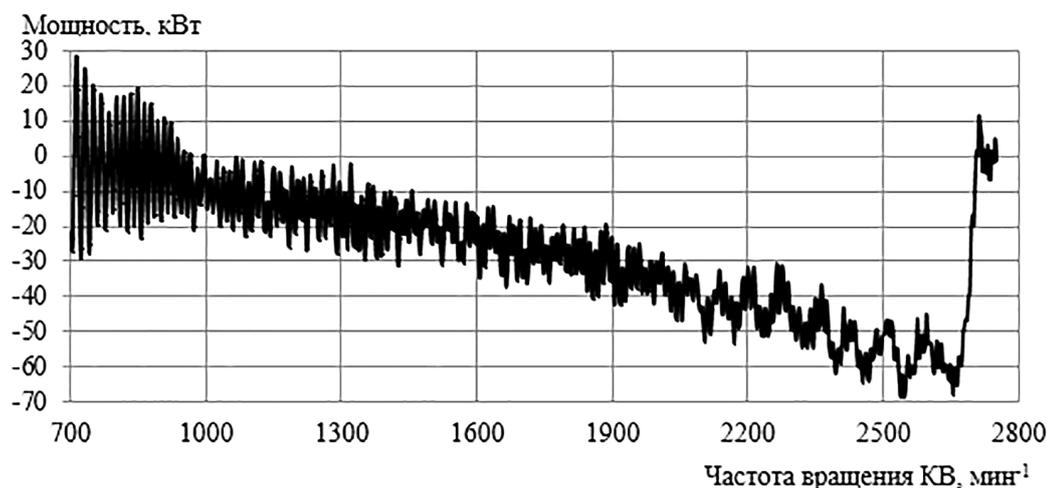


Рисунок 10 – Изменение мощности механических потерь двигателя в режиме свободного выбега

Figure 10 – Change in the power of mechanical losses of the engine in the free acceleration mode

стоты вращения коленчатого вала до уровня 960 мин⁻¹ крутящий момент достигает значения минус 93 Нм. В конце выбега при минимальной частоте вращения коленчатого вала среднее значение крутящего момента на опорах принимает нулевое значение (рис. 9).

Мощность механических потерь, численная относительно текущего значения величины крутящего момента на опорах и соответствующего значения частоты вращения коленчатого вала, изменяется от нуля до минус 63 кВт при изменении частоты вращения коленчатого вала с 2 751 до 2 663 мин⁻¹; затем по мере уменьшения частоты вращения коленчатого вала до 709 мин⁻¹ принимает нулевое значение. Максимальный размах мощности наблюдается также при минимальной частоте вращения коленчатого вала и составляет 57 кВт (рис. 10).

Заключение. Предложенная концептуальная модель диагностической системы для оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания, в сравнении с ранее известными подходами [13, 14], позволяет определить пути реализации нового направления при проектировании встроенных информационных измеритель-

ных систем контроля за функциональными характеристиками.

Модель позволяет на основе установленных функциональных связей осуществить переход к алгоритмизации изучаемой диагностической системы для разработки в дальнейшем научных и технологических основ ее применения.

При апробации элементов нового подхода, разработанного на основе полученной концептуальной модели, посредством проведения экспериментальных исследований на дизельном двигателе, установлено, что в процессе свободного выбега снижение частоты вращения коленчатого вала с 2 751 до 709 мин⁻¹ происходит в среднем за 3,2 с при максимальном значении ускорения коленчатого вала минус 138 с².

Максимальное значение величины реакции опор составляет 402 Н, крутящего момента на опорах – минус 234 Нм и мощности механических потерь соответственно минус 63 кВт, которые достигаются при частоте вращения коленчатого вала 2 663 мин⁻¹. Указанные факты свидетельствуют о высоком диагностическом потенциале измеряемого параметра – величины реакции опор.

Список источников

1. Михайлов М. Р., Жосан А. А. Оптимизация использования зерноуборочных комбайнов по параметрам надежности // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 3. С. 17–27.
2. Ларионов В. И. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники на современном этапе // Актуальные вопросы аграрной науки. 2015. № 15. С. 49–57.
3. Старостин И. А., Загоруйко М. Г. Материально-техническая база сельского хозяйства: обеспеченность тракторами и состояние тракторостроения // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 126–130. doi: 10.28983/asj.y2020i10pp126-130.
4. Охотников Б. Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. 140 с.
5. Дзуганов В. Б., Апхудов Т. М., Болотоков А. Л., Губжоков Х. Л. Исследование работоспособности форсунок тракторных дизелей // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 6 (126). С. 965–972. doi: 10.35679/1991-9476-2022-17-6-965-972.
6. Akhmetov A. A., Karimov A. K., Kambarova D. U., Begmatov D. K. Issues of ensuring the operability of the mechanism for changing the base of a four-wheel tractor // Theoretical and Applied Science. 2021. No. 3 (95). P. 42–47. doi: 10.15863/TAS.2021.03.95.5.
7. Головин С. И., Ревякин М. М., Жосан А. А. К вопросу оценки условий эксплуатации и прогнозирования остаточного ресурса двигателей внутреннего сгорания // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 3. С. 103–110.
8. Филатов М. И., Пузаков А. В., Миркитанов В. И., Путрин А. С., Аверкиев А. А. Определение оптимальной периодичности диагностирования автотракторных генераторов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 61–64.
9. Потапов А. П. Формирование ресурсного потенциала аграрного производства как фактор обеспечения продовольственной безопасности России // Региональные агросистемы: экономика и социология. 2021. № 3. С. 49–54.
10. Курносоев А. Ф., Гуськов Ю. А. Импульсно-силовой способ оценки технического состояния цилиндрично-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3. С. 25.
11. Сацкевич Н. Е., Курносоев А. Ф., Галынский А. А. Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя // АгроЭкоИнфо. 2020. № 4. С. 30.
12. Патент № 2669224 Российская Федерация. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания : № 2017104068 : заявл. 07.02.2017 : опубл. 09.10.2018 / Гуськов Ю. А., Курносоев А. Ф. Бюл. № 28. 9 с.
13. Щитов С. В., Ус С. С., Маршанин Е. В., Кузнецов Е. Е. Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 147–154. doi: 10.28983/asj.y2023i8pp147-154.
14. Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Оптимизация энергетических затрат транспортно-производственного процесса // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 4 (56). С. 151–155. DOI: 10.24411/1999-6837-2020-14063.

References

1. Mikhaylov M. R., Zhosan A. A. Optimization of the use of combine harvesters by reliability parameters. *Tehnologija kolesnyh i gusenichnyh mashin = Technology of Wheeled and Tracked Machines*, 2014;3:17–27 (in Russ.).

2. Larionov V. I. Improving the efficiency of the use of agricultural machinery at the present stage. *Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki*, 2015;15:49–57 (in Russ).
3. Starostin I. A., Zagoruyko M. G. Material and technical base of agriculture: availability of tractors and the state of tractor construction. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2020;10:126–130 (in Russ). doi: 10.28983/asj.y2020i10pp126-130.
4. Ohotnikov B. L. *Operation of internal combustion engines*, Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2014, 140 p. (in Russ).
5. Dzuganov V. B., Aphudov T. M., Bolotokov A. L., Gubzhokov Kh. L. Study of the performance of tractor diesel injectors. *Nauchnaja zhizn'*, 2022;17;6(126):965–972 (in Russ). doi: 10.35679/1991-9476-2022-17-6-965-972.
6. Akhmetov A. A., Karimov A. K., Kambarova D. U., Begmatov D. K. Issues of ensuring the operability of the mechanism for changing the base of a four-wheel tractor. *Theoretical and Applied Science*, 2021;3(95):42–47. doi: 10.15863/TAS.2021.03.95.5.
7. Golovin S. I., Revyakin M. M., Zhosan A. A. On the issue of assessing the operating conditions and forecasting the residual life of internal combustion engines. *Agrotehnika i energoobespechenie*, 2019;3:103–110 (in Russ.).
8. Filatov M. I., Puzakov A. V., Mirkitanov V. I., Putrin A. S., Averkiev A. A. Determination of the optimal frequency of diagnostics of automotive generators. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017;1(63):61–64 (in Russ.).
9. Potapov A. P. Formation of the resource potential of agricultural production as a factor in ensuring food security in Russia. *Regional'nye agrosistemy: ekonomika i sociologija*, 2021;3: 49–54 (in Russ.).
10. Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Pulse-power method for assessing the technical condition of the cylinder-piston group of an internal combustion engine. *AgroEkoInfo*, 2020;3:25 (in Russ.).
11. Sackevich N. E., Kurnosov A. F., Galynskiy A. A. Intelligent system for diagnosing transport and technological machines based on identified impulse-power characteristics of the engine. *AgroEkoInfo*, 2020;4:30 (in Russ.).
12. Guskov Yu. A., Kurnosov A. F. Method for determining the effective power of an internal combustion engine. *Patent RF, no 2669224 patenton.ru* 2018 Retrieved from <https://patenton.ru/patent/RU2669224C2> (Accessed 10 August 2023) (in Russ.).
13. Shchitov S. V., Us S. S., Marshanin E. V., Kuznetsov E. E. Application of modern digital devices for fixation of parameters of movement of agricultural aggregates. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2023;8:147–154 (in Russ.). doi: 10.28983/asj.y2023i8pp147-154.
14. Krivutsa Z. F., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Optimization of energy costs of the transport and production process. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2020;4(56):151–155 (in Russ.). DOI: 10.24411/1999-6837-2020-14063.

© Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А., 2023

Статья поступила в редакцию 19.10.2023; одобрена после рецензирования 14.11.2023; принята к публикации 22.11.2023.

The article was submitted 19.10.2023; approved after reviewing 14.11.2023; accepted for publication 22.11.2023.

Информация об авторах

Курносков Антон Федорович, кандидат технических наук, Новосибирский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3273-6229>, AuthorID: 9904-7841, anton_kurnosov@mail.ru;

Гуськов Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент, Новосибирский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-4990>, AuthorID: 3666-7202, iinsau@yandex.ru

Information about authors

Anton F. Kurnosov, Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3273-6229>, AuthorID: 9904-7841, anton_kurnosov@mail.ru;

Yuriy A. Guskov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-4990>, AuthorID: 3666-7202, iinsau@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.