

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**Д.С. Колтыгин, И.А. Седельников, А.Д. Ульянов (БрГУ)**

Обоснована актуальность создания автоматизированных систем диагностики и мониторинга технических объектов. Приведена классификация моделей диагностирования. Представлен вариант программной реализации автоматизированной системы диагностики и мониторинга передней подвески автомобиля. Приведены результаты ее работы.

Ключевые слова: мониторинг, диагностика, автоматизированная система, алгоритм, колебательные объекты, математическая модель, резонансные методы диагностирования.

Введение

Системы управления технологическими оборудованием, процессами и производствами стремительно развиваются и усложняются с развитием микропроцессорной техники, вычислительных машин, коммуникационных интерфейсов. Сегодня трудно представить процесс управления технологическими процессами без диагностики и мониторинга в режиме реального времени, во время нормального функционирования объекта. Эти процессы протекают параллельно, взаимодействуя между собой, дополняют друг друга. Также важным моментом является процесс идентификации всех объектов управления.

Автоматизированные системы диагностики и мониторинга (АСДиМ) различных технических объектов, активно внедряемые во всем мире в течение последних двух десятилетий, показывают свою техническую и экономическую эффективность. Оснащение систем управления автоматизированными системами диагностики и мониторинга повышает вероятность обнаружения развивающихся повреждений, постепенных отказов в оборудовании по сравнению с проведением традиционных видов диагностики на работающем оборудовании. АСДиМ и методы диагностики также позволяют определить такие параметры объектов (в режиме их рабочего состояния), которые невозможно измерить в виду конструктивных особенностей технических объектов.

Процесс сбора измерительной информации, необходимой для диагностирования сложных объектов, позволяет ускорить процесс принятия решения о техническом состоянии объекта, избежать ряда ошибок при обработке информации и повысить достоверность принимаемого решения. Поэтому необходимо обеспечить максимально полный набор измерительных параметров для дальнейшей идентификации объекта, не смотря на то, что не все из них будут иметь диагностическую ценность. В процессе идентификации необходимо установить степень соответствия используемой математической модели (ММ) объекта диагностирования полученным экспериментальным данным, другими словами определить возможность проведения дальнейших исследований по используемой модели [1]. На этом этапе создается необходимое число измерительных каналов и оборудования, так как без проведения каких-либо измерений диа-

гностирование невозможно вообще. Измерительная аппаратура входит в состав технических средств диагностики.

Постановка задачи

Прикладные решения, предназначенные для идентификации, диагностики и мониторинга промышленных объектов, существенно отстают от теории по ряду объективных и субъективных причин. Разработке обобщенных алгоритмов идентификации и диагностирования технических объектов посвящено достаточно много работ. К сожалению, довольно часто в них отсутствуют методы и алгоритмы, пригодные для применения на практике. Такой разрыв также имеет место между мониторингом технических объектов и методами идентификации и диагностирования.

Электромеханические, пневмо- и гидромеханические объекты составляют основную часть промышленности, а определение их состояния дает предприятиям экономическую эффективность, конкурентоспособность и, что самое важное, безопасность при эксплуатации. Актуальным является применение методов и средств диагностики и мониторинга для промышленных, технических объектов в режимах их нормального функционирования, накопление и анализ диагностической информации. Резонансные методы диагностирования, если они допустимы по техническим условиям, позволяют существенно оптимизировать стратегию поиска постепенных отказов.

В статье предложена методика идентификации, диагностики и мониторинга различных технических объектов, основанная на применении резонансного прикладного метода диагностирования колебательных промышленных объектов. Представлено разработанное программное решение, реализующее предложенную методику. Отметим универсальность разработанной программы, ее расширяемость, доступность сопутствующего программного обеспечения, простоту использования, малые системные требования, а также малую стоимость по сравнению с другими существующими системами.

Основные задачи, которые решает АСДиМ:

- своевременное обнаружение повреждений;
- изменение значений параметров;
- предотвращение отказов оборудования;
- оперативное реагирование на изменение техни-

ческого состояния эксплуатируемого объекта управления;

- повышение достоверности результатов контроля технического состояния за счет перехода от точечных измерений к анализу трендов;
- исключение «человеческого фактора», связанного с недостатком опыта и навыков персонала, а также освобождение персонала от рутинных операций [2].

Для создания АСДиМ под конкретный объект диагностики необходимо выполнить следующие этапы:

- идентификация объекта диагностики как отдельного технического объекта, изучение его структуры и режимов функционирования;
- построение математической модели объекта диагностики;
- создание алгоритма и расчетной программы для математической модели объекта;
- проведение необходимого объема расчетов с использованием математической модели;
- определение наиболее информативных параметров технологического процесса, имеющих диагностическую ценность, для включения их в число непосредственно измеряемых при диагностировании;
- выбор или создание метода диагностики объекта, связывающего введенные диагностических признаков объекта с тем же числом измеряемых параметров



Рис. 1. Обобщенная функциональная модель АСДиМ

процесса, обеспечивающих однозначную идентификацию этих параметров;

- создание расчетной программы для мониторинга параметров диагностики и выдачи результатов;
- подготовка вычислительной машины как одного из блоков будущей АСДиМ с необходимым системным программным обеспечением и расчетной программой [3].

К основным техническим этапам создания АСДиМ относятся:

- построение многоуровневой АСДиМ;
- организация информационного обмена между всеми компонентами измерительной системы;
- организация измерений, сбора и предварительной обработки информации;
- получение и преобразование первичных данных о значениях контролируемых параметров оборудования;
- расчеты параметров диагностики и мониторинг состояния.

Модели и методы диагностики

Обобщенная функциональная модель АСДиМ представлена на рис. 1. Классификация моделей объектов диагностирования изображена на рис. 2.

Главной задачей в процессе идентификации является создание ММ. Для построения ММ любого

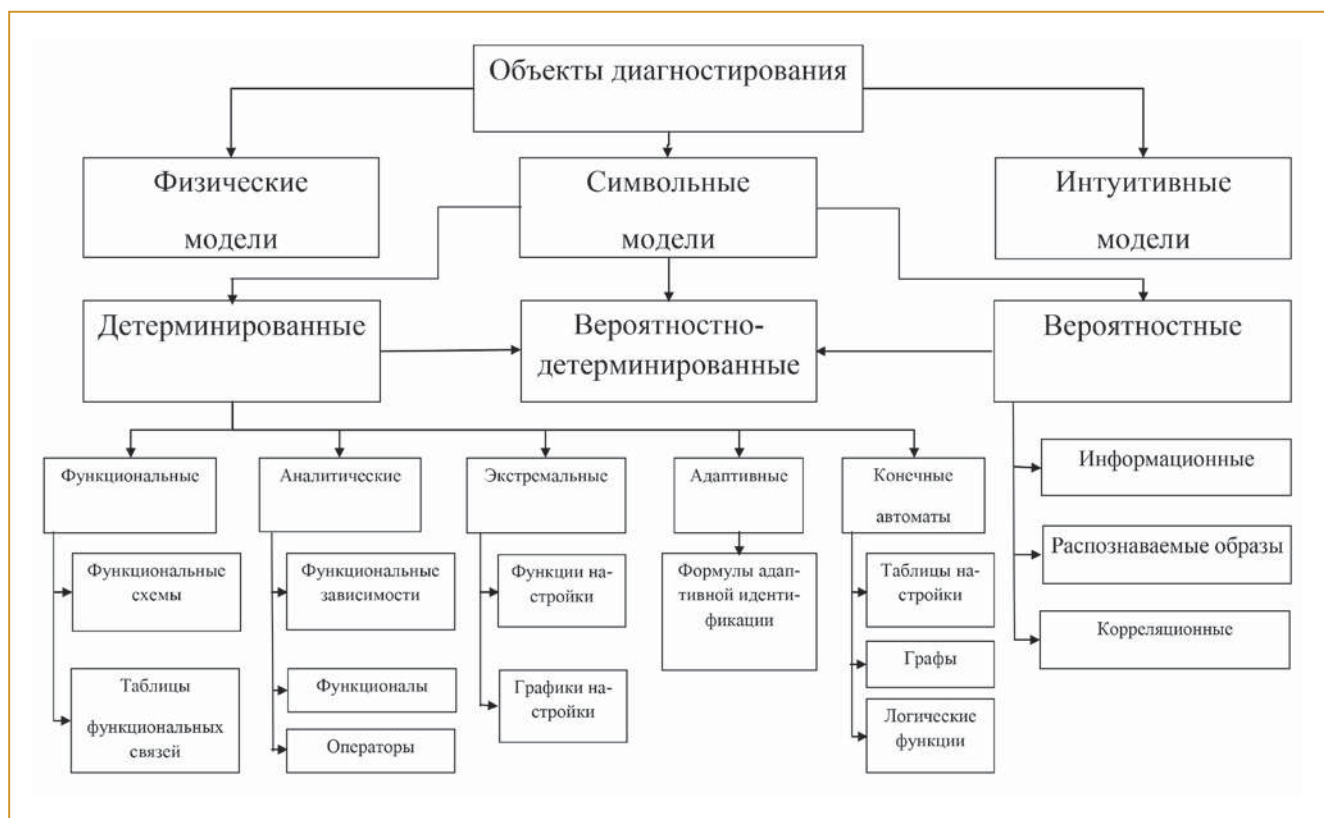


Рис. 2. Классификация моделей диагностирования

процесса необходимо выбрать общую структуру модели и класс уравнений, которыми предполагается описать наблюдаемый процесс, то есть решить задачу структурной идентификации. Сложность структуры ММ определяется конечными целями исследования, теоретическими положениями о механизме процессов, возможностями установления структурных параметров и математического обеспечения обработки полученных результатов [1]. Когда структура модели и класс уравнений определены, то необходимо установить структурные параметры, вошедшие в уравнения ММ. Данная задача называется задачей параметрической идентификации. Если ММ разрабатывается с целью установления совокупности структурных параметров, определяющих состояние технической системы, то такая задача является задачей технического диагностирования. Общей целью решения задачи параметрической идентификации является подбор таких значений неизвестных структурных параметров, при которых решение задачи соответствовало бы экспериментальным данным, причем найденные значения структурных параметров не должны противоречить физическому смыслу и теоретическим положениям. Общая постановка задачи идентификации и диагностирования описана в [4].

Установление зависимости параметров выходных процессов от структурных параметров объекта всегда предполагает определенную идеализацию. Под идеализацией понимается процесс, при котором выделяются некоторые существенные для диагностирования стороны реальных объектов и отбрасываются второстепенные. Реальный объект заменяется моделью, которая рассматривается как объект диагностирования (ОД). После выбора ОД определяются методы и алгоритмы диагностирования. Наиболее близкими к задачам разработки детерминированных методов диагностирования линейных динамических объектов являются задачи их синтеза по временным характеристикам (выходным процессам) и идентификации реального объекта и его модели по коэффициентам дифференциальных уравнений [5, 6].

Рассмотрим изложенное на примере.

Передняя подвеска автомобиля, состоит из двух колебательных звеньев, соединенных последовательно: неподдресоренной и поддресоренной частей, передаточная функция которой может быть представлена в виде:

$$W(p) = \frac{k}{\alpha_4 p^4 + \alpha_3 p^3 + \alpha_2 p^2 + \alpha_1 p + \alpha_0}, \quad (1)$$

где k , a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 — постоянные коэффициенты передаточной функции.

Такая колебательная система имеет резонансы в низкочастотной и высокочастотной областях, которые выделяют неподдресоренную и поддресоренную части как самостоятельные объекты диагностики.

Резонансные частоты неподдресоренной и поддресоренной частей определяются по формулам:

$$\omega_u = \frac{\sqrt{4C_u m - C_1^2}}{2m}, \omega_p = \frac{\sqrt{4C_p M - C_2^2}}{2M}, \quad (2)$$

где ω_u — резонансная частота неподдресоренной части подвески, ω_p — резонансная частота поддресоренной части подвески, C_1 — коэффициент вязкого трения неподдресоренной части подвески, C_2 — коэффициент вязкого трения поддресоренной части подвески, C_u — суммарная жесткость шин, C_p — суммарная жесткость рессор, m — приведенная неподдресоренная масса, M — приведенная поддресоренная масса.

Далее находим резонансные частоты с дополнительным пробным подключением. Метод пробных подключений заключается в том, что к исследуемой системе подключаются дополнительные элементы с известными параметрами и оценивается их влияние на диагностируемую систему.

Для этого в формулах (2) прибавляем известное значение к параметрам вязкости.

В результате получаем систему из четырех уравнений, что достаточно для нахождения четырех неизвестных: C_1 — коэффициент вязкого трения неподдресоренной части подвески, C_2 — коэффициент вязкого трения поддресоренной части подвески, C_3 — суммарная жесткость шин, C_4 — суммарная жесткость рессор.

Мониторинг должен обеспечить непрерывный автоматизированный или автоматический контроль. Это включает: сбор первичной информации от устройств, управление и регистрация сигналов об аварийных ситуациях (сигнализация), хранение информации с возможностью ее последующей обработки, обработка первичной информации, визуализация представления информации в виде графиков, гистограмм и т.п., предсказания ситуаций, анализ трендов, возможность формирования управляющих сигналов управления. В качестве программного обеспечения процессов диагностики, мониторинга и управления могут выступать АСУТП, SCADA-системы, прочие программы и комплексы программ. В современных системах автоматического управления (САУ) перспективным является управление, в котором управляющие воздействия служат для обеспечения требуемого качества управления с учетом непрерывной идентификации и диагностики объектов управления. С учетом этого ЭВМ самостоятельно, на основе расчетов может принимать решения по управляющим воздействиям на объект. При автоматизированном управлении оператор принимает решения на основе диагностики и мониторинга состояния объекта [7, 8].

Естественно, ЭВМ в основном служит как «советчик», а оператор принимает окончательное решение. При проектировании САУ учитываются все аспекты предыдущих функциональных блоков, сопряжение оборудования, контроллеры. Все это вместе с иден-

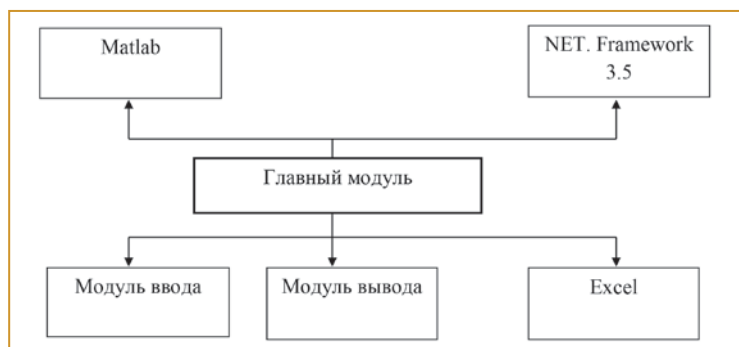


Рис.3. Структура программы «Диагностика технических объектов»

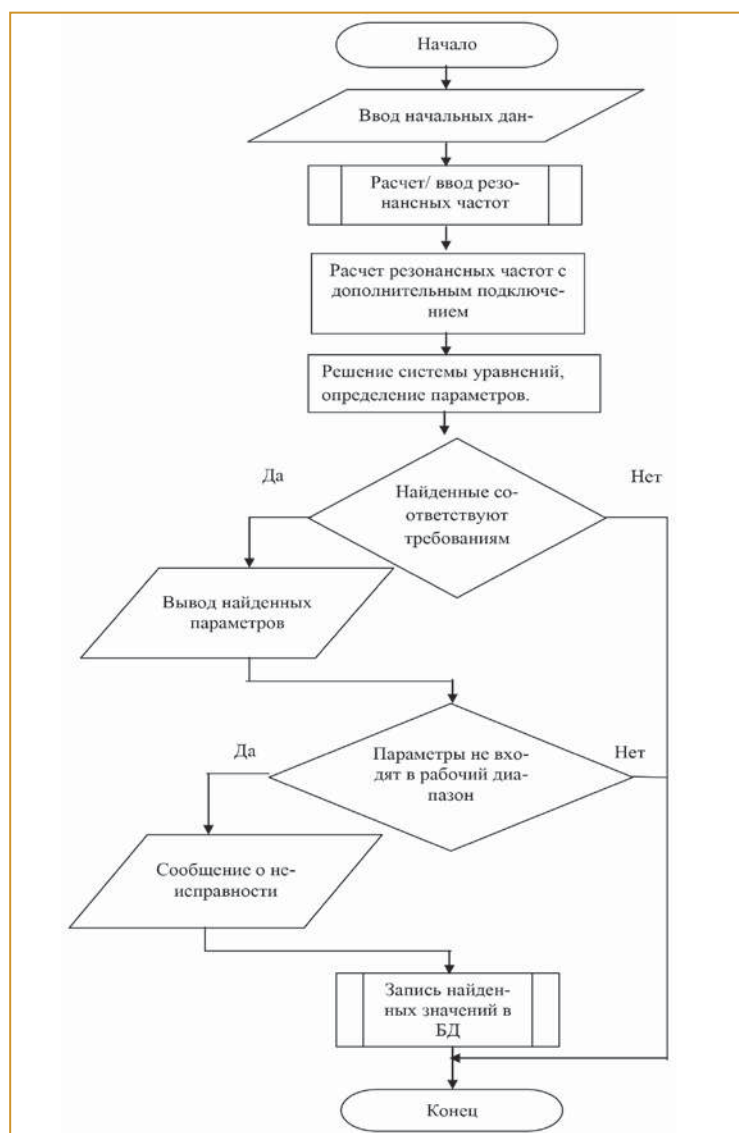


Рис.4. Алгоритм работы программы «Диагностика технических объектов»

тификацией, диагностикой и мониторингом должно обеспечивать необходимое качество управления.

Программная реализация АСДиМ

Автоматизированная система диагностики и мониторинга (АСДиМ) реализована в виде программного обеспечения «Диагностика технических объектов»¹. Программа написана на языке VisualBasic из пакета VisualStudio 2013 и использует NET. Framework 3.5 в качестве основы визуализации и определения набора базовых библиотеки инструментов и пакета Matlab для расчетов. Общая структура программы представлена на рис. 3.

В программе используется COM-сервер², который выбран за простоту реализации и возможности модернизации. Данные в Matlab хранятся в виде матрицы. Поэтому для работы требуется перевести их в поддерживаемый VisualBasic массив, попутно проверяя данные на соответствие условиям. Ввод и вывод данных осуществляется стандартными средствами VisualStudio. Для этого применяются текстовые поля TextBox и RichTextBox. При дальнейшем развитии программы ввод данных возможно организовать из Excel, текстовых файлов или использовать результаты полученные при моделировании в Matlab. Данные полученные по результатам расчетов можно записать в файл Excel. Для этого используется библиотека Microsoft.Office.Interop.NET. Framework 3.5 служит основой графического отображения форм программы и источником библиотек, используемых, в том числе и для передачи данных.

Общий алгоритм работы программы «Диагностика технических объектов» представлен на рис. 4. Программа содержит три формы. На первой форме «Диагностика технических объектов» осуществляется выбор объектов диагностики, в данном случае: подвеска автомобиля и система зажигания. Вторая — «Диагностика подвески» и третья «Диагностика системы зажигания» — формы расчета параметров объектов.

Форма расчета параметров подвески представлена на рис. 5. Входными данными являются: АФЧХ диагностируемой системы, полученная в ходе проведения эксперимента, АФЧХ системы после проведения пробных подключений, коэффициенты передаточной функции, полученные при идентификации (1) и номинальные значения исследуемых параметров.

¹ Колтыгин Д.С., Седелников И.А., Ульянов А.Д. Диагностика промышленных объектов: программа для ЭВМ. Св. № 2019667480; зарег. в реестре программ 24.12.19.

² MATLAB поддерживает возможности сервера автоматизации COM на ОС Microsoft® Windows®. Любая Windows-программа, сконфигурированная как контроллер автоматизации, может управлять MATLAB. Некоторыми примерами является Microsoft Excel, Microsoft Access и многие программы Microsoft Visual C ++ и Microsoft Visual Basic.

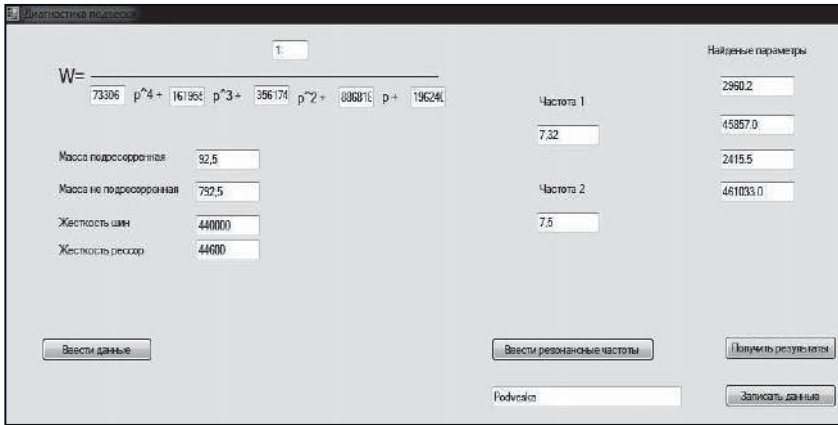


Рис.5. Форма «Диагностика подвески»

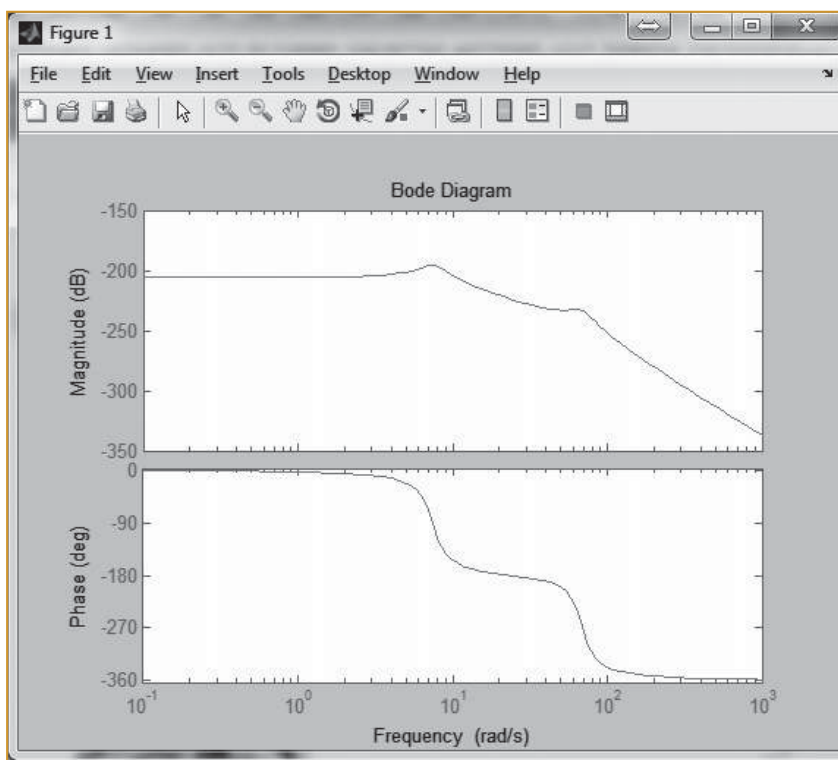


Рис.6. АЧХ и ФЧХ подвески автомобиля

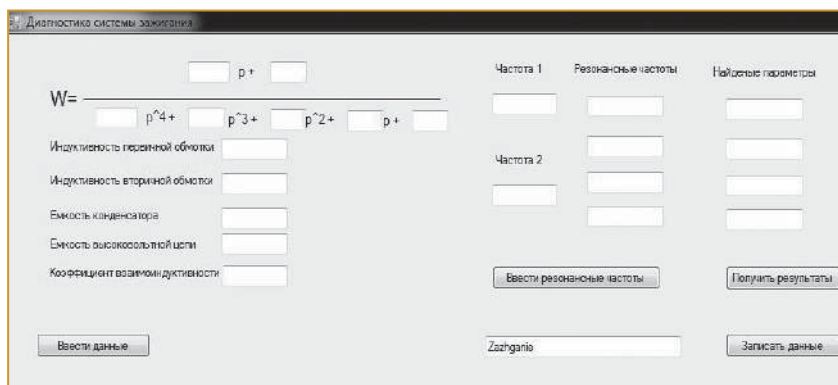


Рис. 7. Форма «Диагностика системы зажигания»

Форму условно можно представить в виде трех колонок, отвечающих за определенные действия и выстроенные в строгой последовательности. После ввода начальных данных создается СОМ-сервер автоматизации Matlab, с помощью которого описывается передаточная функция, осуществляется построение АФЧХ (рис. 6) и расчет корней характеристического уравнения, положительная составляющая мнимой части которых является значением резонансных частот. Также резонансные частоты могут быть определены по пикам графика. Полученные значения выводятся во второй колонке текстовых полей.

Значения частот можно откорректировать, например, округлив до требуемой точности либо, пропустив расчет, ввести полученные экспериментальным путем данные. По резонансным частотам находим значения коэффициентов вязкого трения подпрессоренной и неподпрессоренной частей подвески (2). Реализовано это с помощью символьного решения уравнения в Matlab. Символьные методы позволяют уйти от задания диапазонов вычислений и значительно повысить точность по сравнению с численными. Далее, из символа получаем положительное вещественное число.

При решении системы алгебраических уравнений на экран будут выведены только те параметры, которые пройдут эвристический отбор полученных решений, то есть будут отброшены группы значений, в которых присутствуют отрицательные параметры и параметры, отличающиеся от номинальных более чем на 50%.

Если полученные значения будут отличаться больше чем на 10% от заданных, то на экране появится сообщение с предупреждением о неисправности.

Полученные результаты рекомендуется записываются в Excel файл.

Входными данными являются: номинальные параметры системы зажигания: индуктивность первичной и вторичной обмотки катушки зажигания, емкость конденсаторов, емкость высоковольтной цепи, учитывающая распределенную емкость высоковольтной цепи, коэффициент взаимной индуктивности, АФЧХ системы до и после пробных подключений.

1	Дата	C1	C2	C3	C4
2	25.05.2018	2960,2	45857	2415,5	461033
3	26.05.2018	2950,3	45837,1	2415,6	461033,1
4	27.05.2018	2965,4	45757,2	2415,7	461033,2
5	28.05.2018	2954,5	45888,3	2415,8	461033,3
6	29.05.2018	2959,6	45824,4	2415,9	461033,4
7	30.05.2018	2963,7	45890,5	2415,1	461033,5
8	31.05.2018	2940,8	45876,6	2415,11	461033,6
9					

Рис. 8. Пример данных мониторинга подвески автомобиля

Диагностика системы зажигания осуществляется аналогично диагностике подвески.

Форму «Диагностика системы зажигания» (рис. 7) условно можно представить в виде трех колонок, отвечающих за определенные действия и выстроенные в строгой последовательности. В первой колонке формы вводятся начальные данные для расчетов: коэффициенты передаточной функции, индуктивность первичной и вторичной обмотки катушки зажигания, емкость конденсаторов емкость, учитывающая распределенную емкость высоковольтной цепи, коэффициент взаимоиндуктивности.

С помощью Matlab рассчитываются резонансные частоты. Далее выполняется определение резонансных частот с учетом пробных подключений и составляется система уравнений. Решив символьным методом в Matlab систему уравнений, получим набор данных, которые проверяются на соответствие требованиям. Как и при диагностике подвески автомобиля, данные записываются в Excel, где строятся графики

и ведется мониторинг текущего состояния системы зажигания.

Для мониторинга параметров объектов применяется Excel. Для каждого типа объекта созданы шаблонные файлы Excel (Podveska.xlsm и Zazhganie.xlsm), их названия и местоположение автоматически записывается в форме выбранного объекта. В созданном файле запись информации производится по колонкам с указанием параметра и даты формирования результатов (рис. 8).

Далее строится график, позволяющий более наглядно следить за состоянием параметров. Пример показан на рис. 9, 10.

При выходе значений параметров за допустимые пределы срабатывает сигнализация в виде сообщения. Также на графике могут быть отображены линии допуска, позволяющие оператору определить тенденции изменения значений и предсказывать возможные неисправности или определить время обслуживания оборудования.

Заключение

Диагностирование на основании резонансных методов существенно уменьшает время формирования диагноза о состоянии колебательных систем. Для проведения диагностирования колебательных систем достаточно экспериментально определить величины резонансных частот.

Диагностирование резонансными методами колебательных систем позволяют получить более точную и полную информацию, которую можно использовать для прогнозирования постепенных отказов



Рис. 9. Результаты мониторинга параметров подвески автомобиля

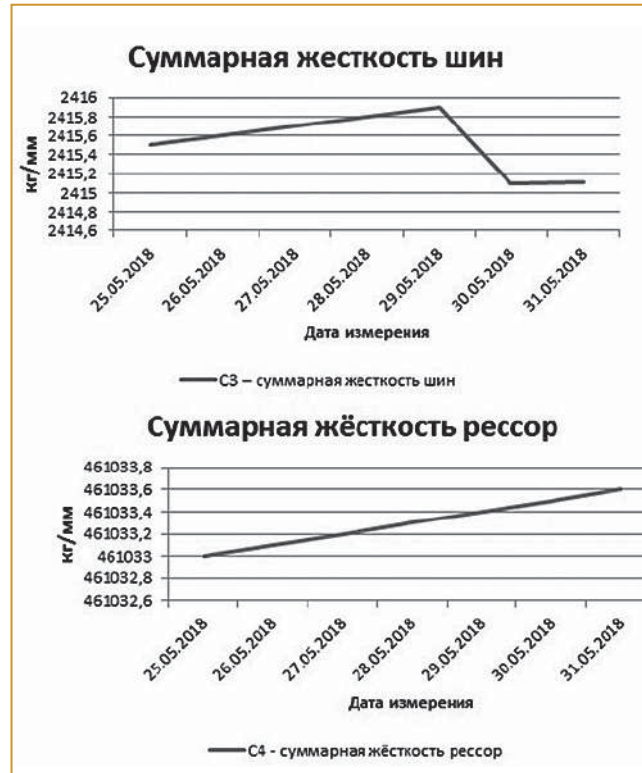


Рис. 10. Результаты мониторинга параметров подвески автомобиля

объектов диагностики, резонансные методы диагностирования позволяют существенно оптимизировать стратегию поиска неисправностей.

В статье представлена автоматизированная система диагностики и мониторинга АСДиМ, основанная на резонансных методах. Система реализована в виде программы «Диагностика технических объектов» [5, 6]. С ее помощью для конкретных объектов можно решать задачи: своевременного обнаружения повреждений, мониторинга изменения значений параметров, предотвращения отказов оборудования, оперативного реагирования на изменение технического состояния эксплуатируемого объекта управления, повышения достоверности результатов контроля технического состояния за счет перехода от точечных измерений к анализу трендов, а также исключения «человеческого фактора», связанного с недостатком опыта и навыков персонала, а также освобождения персонала от рутинных операций.

Программа может легко расширяться функционально, включая новые объекты диагностики и мониторинга.

Программа прошла апробацию при диагностике и мониторингу передней подвески автомобиля ГАЗ-24, в ходе которой были определены резонансные частоты шин и рессор передней подвески автомобиля $\omega_{ш} = 63.5 \text{ с}^{-1}$ $\omega_{р} = 6.32 \text{ с}^{-1}$ с достаточной диагностической точностью.

Разработанная программная система позволяет контролировать множественные параметры различных технических объектов.

Список литературы

1. Райбман Н.С., Чадаев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия. 1975. 375 с.
2. Дарьян Л. и др. Автоматизированная система мониторинга и диагностики оборудования подстанции. Часть 1. Общие технические требования. АО «Техническая инспекция ЕЭС» http://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/press/smi/eeipr_2015_1.pdf.
3. Панкин А.М. Построение автоматизированных систем диагностирования технических объектов. Информационное агентство «ПРОАтом». <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4013>.
4. Лузгин В.В., Ульянов А.Д. Методология формирования алгоритмов идентификации и диагностирования аналоговых промышленных объектов // Системы. Методы. Технологии. 2013. №3(19).
5. Лузгин В.В., Ульянов А.Д. Резонансный метод диагностирования колебательных промышленных объектов // Вестник МАДИ. 2015. №1 (40).
6. Лузгин В.В., Ульянов А.Д. Резонансные метод диагностирования подвески и контактной системы зажигания автомобиля // Тр. Братского государственного университета: Серия: Естественные и инженерные науки. Т.1. 2015.
7. Moldoveanu C., Brezoianu V., Vasile A. and other. Online monitoring of substation condition — a Romanian experience. 2012. P. 9.
8. Darian L., Valuyskikh A., Mordcovich A., Turcot V., Tsfasman G. The implementation and operational experience of transformers control, monitoring and diagnostic systems at the united national electric power system of Russia // CIGRE-2012, A2-102. P. 8.

*Колтыгин Дмитрий Станиславович — канд. техн. наук, доцент,
Седельников Илья Андреевич — доцент,
Ульянов Александр Дмитриевич — старший преподаватель кафедры управления в технических системах
Братский государственный университет.
E-mail: coberul@gmail.com*

Птицефабрика «Куратье» управляет производством полного цикла с помощью ТУРБО

Птицефабрика «Куратье» с 2007 г. управляет полным циклом производства курятины от выращивания яйца до поставки готовой продукции и полуфабрикатов покупателю с помощью решения на платформе ТУРБО.

Необходимость повышения конкурентоспособности на насыщенном рынке производителей продуктов питания требует использования не только сырья самого высокого качества, но и современных и надежных информационных средств управления. Автоматизация отдельных направлений учета с помощью самописных программ на птицефабрике «Куратье» перестала служить адекватной поддержкой бизнесу - требовалась комплексная система управления, поддерживающая весь производственный процесс - от выращивания яйца до поставки готовой продукции покупателю.

Фабрика располагает двумя инкубаторами на разных площадках, в которых ежемесячно выращиваются порядка 2 млн. цыплят. По каждой партии необходимо отслеживать производительность, контролировать вес и количество птицы, расход кормов на каждом этапе откорма, анализировать эффективность использования той или иной закупленной породы, рассчитывать себестоимость продукции. В качестве оптимального средства была выбрана платформа ТУРБО.

В ТУРБО реализован весь комплекс бизнес-процессов птицефабрики, куда вошли закупки, ферма выращивания, производ-

ство (забой), производство готовой продукции и полуфабрикатов, фасовка, передача на склад, склад отгрузки, транспортная логистика и путевые листы, учет возвратов, бухгалтерский и налоговый учет, управленческий учет, бюджетирование, казначейство, учет основных средств, ведение кредитного портфеля, продажи, планирование заявок на производство.

Система поддерживает ведение технологических карт по яйцу, позволяет ежемесячно учитывать привес и кормодни, отслеживать нормативы по падежу, браку, продуктивности, плановому списанию кормов. На каждом этапе выращивания виден общий вес цыплят и средний вес одного цыпленка. По каждой партии формируется акт выработки, а для каждого типа готовой продукции ведется отдельная рецептура.

Поддержка полного комплекса управленческого учета позволяет смотреть в системе себестоимость продукции в разрезе номенклатуры, затраты на производство и плановую себестоимость, отчеты и обороты по группе товаров. Решение поддерживает учет сельскохозяйственного налога и интегрировано с системой госконтроля в сфере пищевого производства «Меркурий».

Пользователями системы являются сотрудники всех подразделений от отдела продаж до мастеров смены и транспортных логистов. При поддержке ТУРБО фабрика ежемесячно отгружает более 2 тыс. т готовой продукции 600 контрагентам. Исполнитель проекта - компания «Урал-Центр» (г. Екатеринбург).

[Http://turbosolution.ru](http://turbosolution.ru)