

УДК 621. 43.045:658

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

А. Г. Лютов¹, А. Н. Ильин², Е. А. Филонина³

¹lutov1@mail.ru, ²aleksandr.ilin.71@mail.ru, ³filonina.ea@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 06.10.2015

Аннотация. В работе выполнен анализ требований к качеству технологического процесса изготовления свечей зажигания. Выявлены контролируемые и неконтролируемые параметры свечей зажигания, влияющие на качество розжига и запуска. Описаны этапы разработки структуры системы поддержки принятия решений для жизненного цикла свечей зажигания и структуры базы знаний.

Ключевые слова: свечи зажигания; система поддержки принятия решений; база знаний; жизненный цикл изделия.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день приоритетным направлением деятельности предприятия является объединение взаимосвязанных процессов, регламентов, ресурсов в единую систему, которая позволяет осуществлять поддержку различных стадий жизненного цикла (ЖЦ) на основе интегрированной информационной системы. Она представляет собой хранилище данных в распределенной системе, объединяющей работу подразделений предприятия для информационного сопровождения ЖЦ продукции. Информационная система должна быть сформирована с учетом возможности использования данных на протяжении всего ЖЦ изделия в целях сокращения временных и финансовых ресурсов [1].

В данной работе рассматриваются вопросы разработки системы поддержки принятия решений применительно к технологическому процессу производства свечей зажигания и различным стадиям их ЖЦ. Проблемы обеспечения стабильности изготовления искровых свечей зажигания и эффективного использования их мощности являются актуальными, поскольку от качества изготовления свечи зависят мощность, надежность и топливная экономичность двигателя. Нормативной документацией устанавливаются технические требования к правилам приемки и методам испытаний свечей зажигания, а также к их качеству при обеспечении:

- калильного числа, которое определяет тепловую характеристику свечи;
- помехоустойчивости, работоспособности и совместной работы с электрическими устройствами, что обусловлено наличием встраиваемого резистивного герметика;
- герметичности свечи как по корпусу, так и по цепи центрального электрода;
- надежного покрытия всех металлических деталей;
- требуемого ресурса работы свечей.

Эти факторы определяются как технологией изготовления свечи и ее конструкцией, так и стабильностью технологического процесса.

Если анализировать свечи как элемент системы зажигания, обеспечивающий ее надежность и качество на разных стадиях ЖЦ, то возникает необходимость выдерживать характеристики, связанные с обеспечением калильного числа, герметичности и электрического сопротивления. Более глубокий анализ показывает, что перечисленные выше характеристики связаны между собой конструктивными параметрами свечи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является повышение качества технологического процесса изготовления свечей зажигания и их эксплуатационных свойств на всех стадиях ЖЦ. Для достижения

поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ требований к качеству технологического процесса.
2. Выявить неконтролируемые параметры свечей зажигания, влияющие на качество розжига и запуска.
3. Выбрать и обосновать методы (способы) контроля параметров свечей зажигания.
4. Разработать структуру системы поддержки принятия решений и базы знаний на этапах ЖЦ свечей зажигания.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Свечи являются важнейшим элементом систем зажигания двигателей внутреннего сгорания. Они предназначены для воспламенения горючей смеси в цилиндрах при помощи искрового разряда. При всем разнообразии конструкций любая свеча зажигания (рис. 1) включает в себя керамический изолятор, металлический корпус, электроды и контактную головку для соединения с высоковольтным проводом.

Сердечник устанавливается в корпусе свечи так, что он соприкасается своей конической поверхностью с соответствующей поверхностью внутри корпуса. Между этими поверхностями устанавливается «теплоотводящая» шайба из меди или стали. Боковой электрод «массы» прямоугольного сечения приваривается к торцу корпуса и изгибается в сторону центрального электрода. На цоколь корпуса с упором в плоскую опорную поверхность устанавливается уплотнительное кольцо, предназначенное для герметизации соединения свеча-двигатель.

Центральный электрод устанавливается в канале изолятора, имеющем переменный диаметр. Головка электрода опирается на коническую поверхность канала изолятора в месте перехода от большего диаметра к меньшему. Закрепление электрода в канале изолятора и герметизация этого соединения осуществляется с использованием стеклогерметика. Он представляет собой смесь специального технического стекла и порошка металла. Связкой в герметике является стеклофритта, она обуславливает герметичность. Основными элементами, обеспечивающими электрическое сопротивление, являются карбид бора и карбид кремния.

После остывания герметизирующая пробка приобретает электрическое сопротивление, величина которого подбирается конструкторами и технологами эмпирическим путем на стадии изготовления опытных образцов.

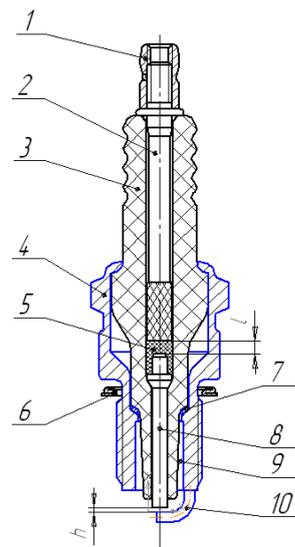


Рис. 1. Устройство свечи зажигания:

- 1 – контактная гайка; 2 – контактный стержень; 3 – керамический изолятор; 4 – металлический корпус; 5 – резистивный стеклогерметик; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – теплоотводящая шайба; 8 – центральный электрод; 9 – рабочая камера; 10 – боковой электрод; h – искровой зазор; l – высота пробки герметика.

Модель технологического процесса изготовления свечи зажигания представлена на рис. 2. Процесс производства свечей зажигания, как и любых других деталей и узлов, начинается с приобретения сырья – керамического порошка и специальных легированных сталей. В самом начале производство разделено на несколько направлений. На одном изготавливают керамический изолятор, а на другом – металлические детали (корпус, сердечник, электроды и т. д.). Изолятор изготавливают из специального керамического порошка с повышенным содержанием окиси алюминия. На первом этапе производства его прессуют в специальных формах, получая требуемый профиль, при этом размеры полуфабриката на 20% больше окончательных. Деталь уменьшается до реальной величины на втором, самом длительном, 24-часовом этапе обжига в туннельной электропечи. Он включает в себя предварительный разогрев, обжиг и охлаждение. Каждый процесс занимает фиксированный интервал времени и происходит при определенной контролируемой температуре. На третьем этапе на изолятор наносят маркировку модели свечи, а затем покрывают его наружную часть краской, в которую добавлен цветной наполнитель. Это позволяет контролировать качество нанесения эмали. После покраски изолятор поступает в печь на сушку, где наполнитель выгорает, а на поверхности остается белая глазурь.

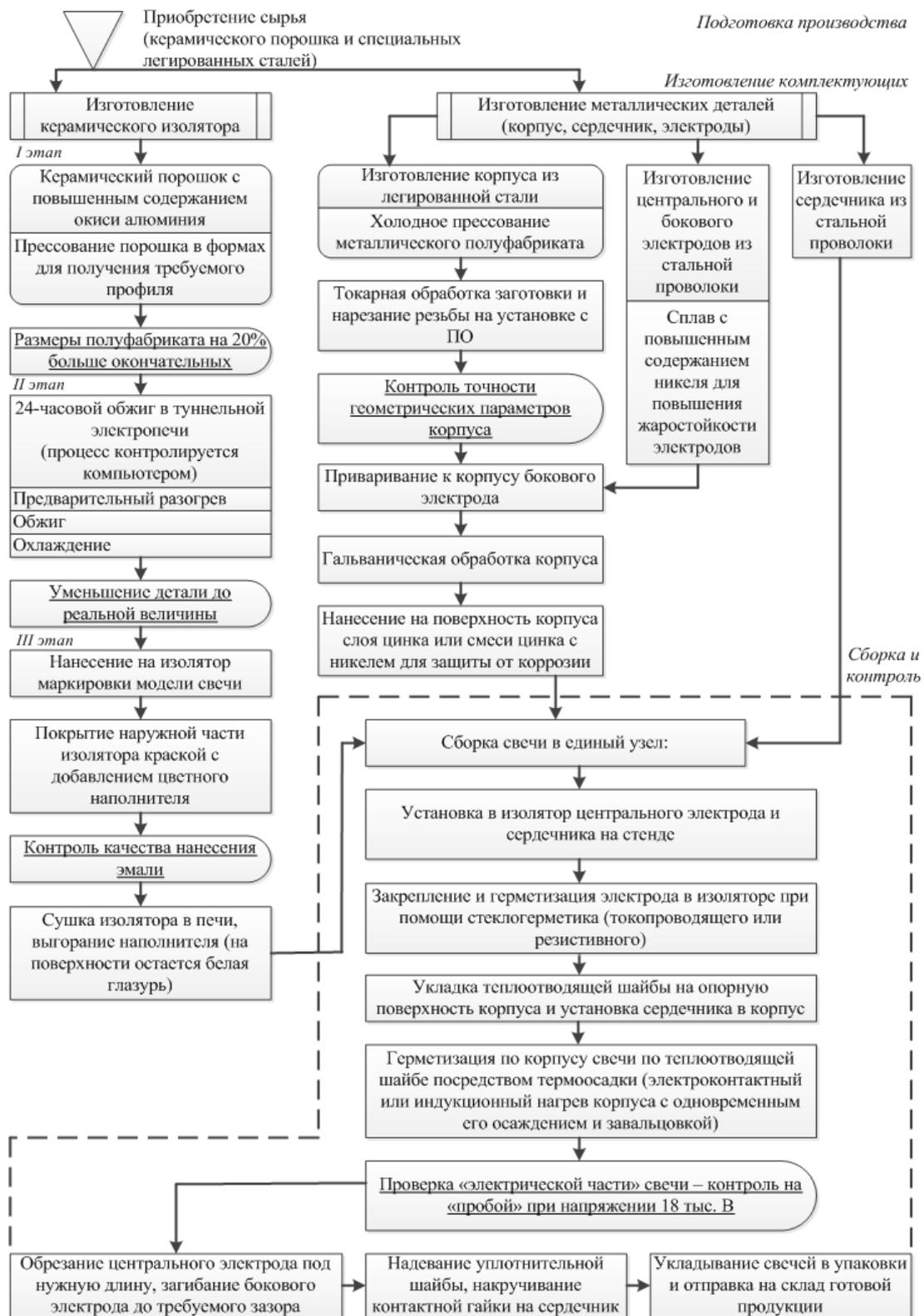


Рис. 2. Схема процесса изготовления свечей зажигания

В другом цехе параллельно с изготовлением изолятора изготавливают металлические детали. Корпус выполняют из легированной стали, которая хорошо поддается обработке давлением и

резанием. Очертания корпуса свечи металлический полуфабрикат принимает в процессе холодного прессования. Затем заготовка поступает на токарную обработку и нарезку резьбы в спе-

циальную установку с программным обеспечением. Далее контролируют точность геометрических форм корпуса. После этого к корпусу приваривают боковой электрод и отправляют его на гальваническую обработку.

Для защиты корпуса от коррозии на его поверхность наносят слой цинка или смеси цинка с никелем (в свечах с увеличенным ресурсом). Сердечник, центральный и боковой электроды изготавливают из стальной проволоки. Для повышения жаростойкости электродов используется сплав с повышенным содержанием никеля.

После изготовления комплектующих (изолятора, корпуса, сердечника и электродов) свечи собирают в единый узел. Если в конструкцию входит помехоподавляющий резистор, изолятор поступает на стенд, где в него устанавливают центральный электрод и сердечник, между которыми послойно засыпают три типа порошка. Верхний и нижний слои выполняют функцию соответственно проводника тока и герметика, а средний является резистором. Там, где резистор не предусмотрен, уже на другом стенде между центральным электродом и сердечником устанавливается свинцовая токопроводящая таблетка.

После этого на другом станке на собранный изолятор надевают металлическое кольцо и корпус, а затем фиксируют их путем завальцовки верхней кромки корпуса и обжимания обкатыванием в зоне средней части (под шестигранником). Этот этап является особенно ответственным, так как в его процессе обеспечивается герметичность свечи, от чего зависит надежность и ресурс детали. Металлическое кольцо, кроме герметизирующей, выполняет еще одну важную функцию – теплопроводящую. Именно она является главной ступенью в процессе отвода тепла от изолятора к корпусу и далее – к головке двигателя и рубашке охлаждения.

По окончании этого этапа сборки свеча поступает на проверку «электрической части» – контроль на «пробой» при напряжении 18 тыс. В. Прошедшая его деталь подается в установку, где под нужную длину обрезается центральный электрод и до требуемого зазора загибается боковой. Далее на нее надевают уплотнительную шайбу и на сердечник накручивают контактную гайку. Последний этап – укладывание свечей в упаковки и отправка на склад готовой продукции.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

На сегодняшний день особенности отечественного производства искровых свечей таковы, что технологический цикл их изготовления яв-

ляется длительным и энергозатратным, а себестоимость изделий – высокой, при этом велика доля ручного труда и степень влияния человеческого фактора. Высоки технологические потери, связанные с браком. В совокупности эти факторы резко снижают конкурентоспособность отечественной продукции. Таким образом, обусловлена необходимость создания систем автоматизации и систем поддержки принятия решений (СППР) для повышения степени отслеживаемости и идентифицируемости продукции [2].

На современном этапе большинство руководителей начинают испытывать потребность в комплексном описании и планировании развития предприятия. При этом задачи, связанные с проектированием и построением информационных систем, вызывают наибольший интерес. Существует множество подходов к решению этих задач. Большинство подходов опирается на инструментальные средства, позволяющие автоматизировать создание информационной системы. Задача по созданию информационной системы делится на несколько подзадач. Это распределение зависит от применяемого подхода, но в любом из них всегда присутствуют два действия:

- сбор информации и моделирование технологических процессов;
- построение архитектуры будущей информационной системы для автоматизации указанных процессов.

При моделировании процессов, как правило, рассматриваются три аспекта [3]:

- объекты, которыми оперируют;
- процессы, которые выполняются;
- события, управляющие изменениями процессов и объектов.

Предлагается для решения задач управления качеством создать иерархическую систему, регулируемую конструкторские, технологические и организационно-производственные решения, и обеспечивающую стабильность технологического процесса (рис. 3).

Система создается с целью охватить весь технологический процесс, когда возникновение отказа свечи зажигания как проявление дефекта изготовления останавливает процесс производства, поскольку необходимо выполнить анализ распространяемости дефекта, повторяемости отказа за последнее время (от 2 до 5 лет), что заставляет увеличивать сроки отгрузки готовой продукции и приводит к возможным отзывам ее из эксплуатации [4]. Составной частью СППР являются документированные процедуры испытаний (рис. 4).

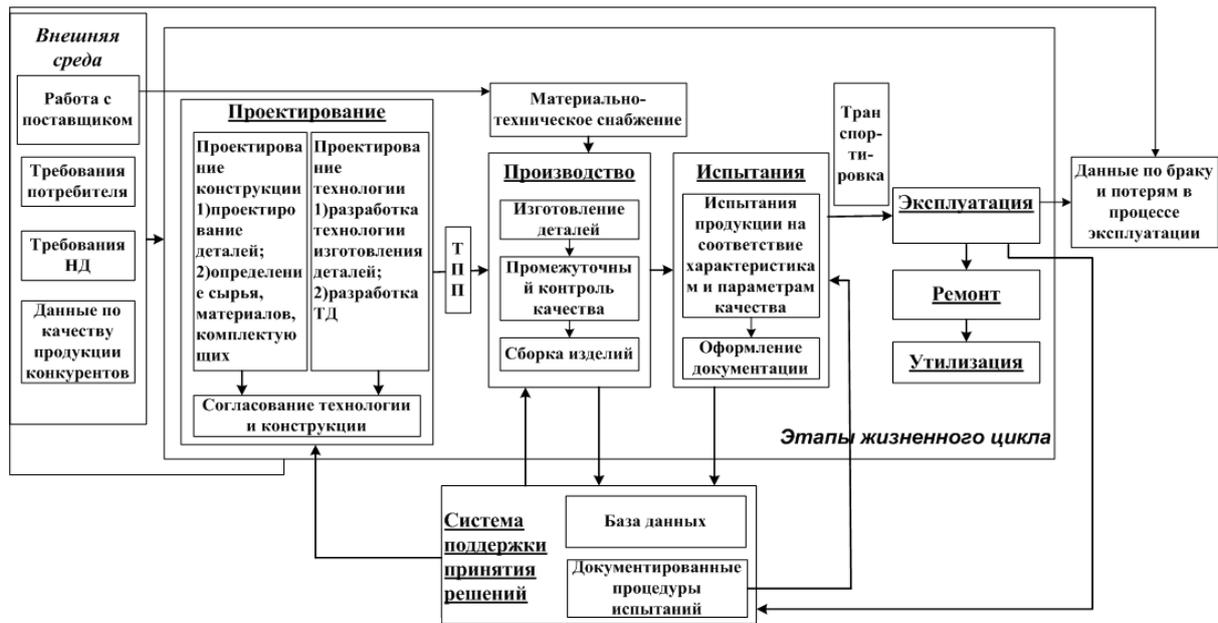


Рис. 3. Структура системы поддержки этапов ЖЦ свечей зажигания:
 НД – нормативная документация; ТПП – технологическая подготовка производства

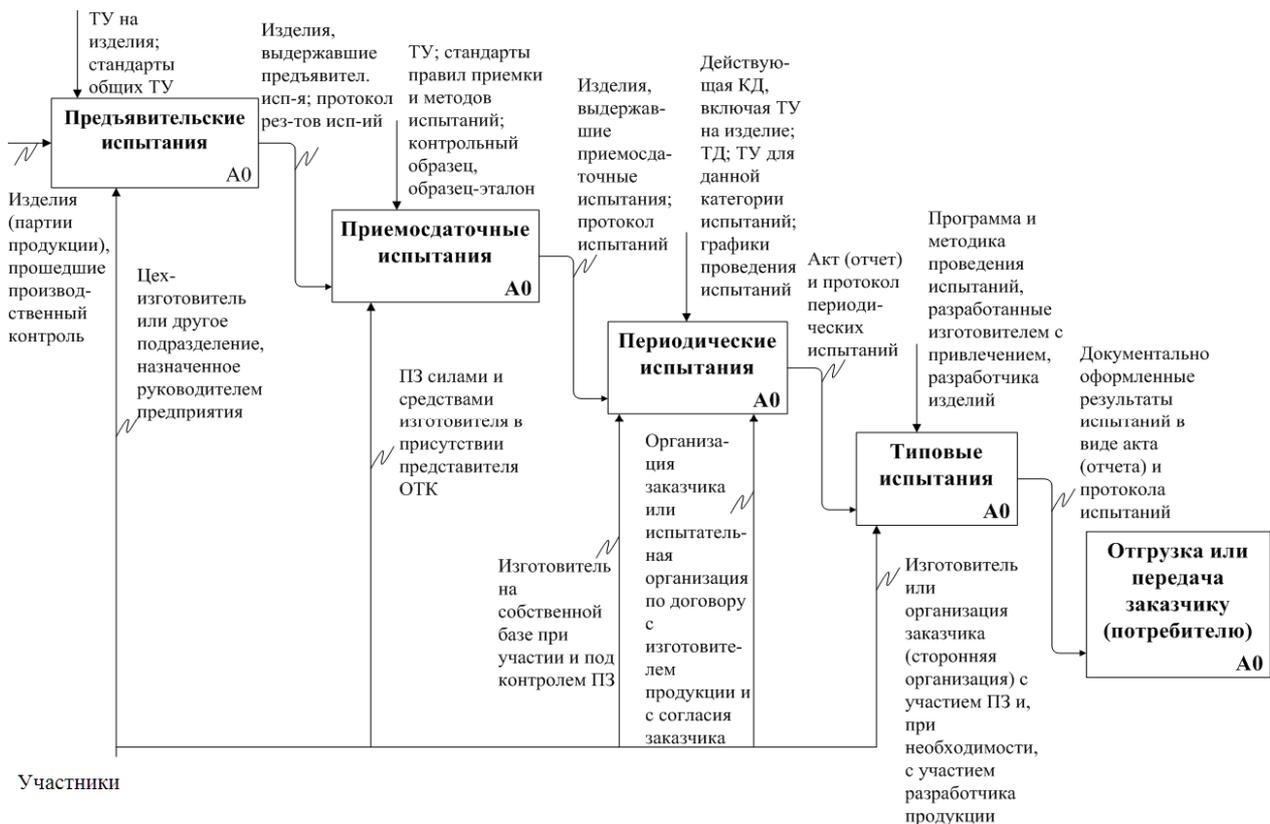


Рис. 4. Основные категории испытаний в соответствии с ГОСТ РВ 15.307-2002:
 ТУ – технические условия; ПЗ – представительство заказчика; ОТК – отдел технического контроля;
 КД – конструкторская документация; ТД – технологическая документация.

ГОСТ РВ 15.307-2002 устанавливает основные категории испытаний, цели их проведения, порядок предъявления изделий на испытания и

(или) приемку и порядок принятия решений о приемке изделий по результатам испытаний. Он распространяется на изделия (продукцию) се-

рийного и массового производства и применяется при разработке и пересмотре стандартов, технических условий, программ, методик испытаний и другой технической документации, устанавливающей правила проведения испытаний и приемки изделий [5].

Стандарт устанавливает основные требования, но в условиях реального предприятия существуют проблемы их реализации. Так сложность представляет идентификация каждого образца продукции. Для серийного и крупносерийного производства шифр продукции должен включать код предприятия, месяц и год (или квартал и год) изготовления, номер партии. С начала 2000-х гг требования были ужесточены и внутри партии выделялся также номер изделия. Одна из особенностей производства свечей зажигания проявляется в том, что маркировка и отслеживание готовой продукции не вызывает трудностей. Но маркировать и отслеживать составные элементы свечи представляет собой проблему, поскольку, например, керамические компоненты также, в свою очередь, выпускаются партиями, из которых сложно выделить конкретный экземпляр. На сварной центральный электрод, диаметр которого в среднем составляет около 2 мм, сложно нанести маркировку. Для герметиков маркировка также не актуальна, можно только снабдить их сопроводительным документом (паспортом), который тоже будет не индивидуальным, а групповым – для партии в целом. Таким образом, при отказе

конкретного элемента в изделии, выявить, идентифицировать его и отследить этапы его изготовления крайне сложно.

Для решения этой проблемы может быть предложен следующий подход. Если применяется автоматизированная система, необходимо на рентген-пленке каждому изолятору (или узлу) в партии присвоить виртуальный номер и занести его в базу данных. К базе данных нужно приложить саму рентген-пленку и фотографию с нее. Это позволит идентифицировать составной элемент в готовой свече.

Для того чтобы двигатель работал исправно и эффективно, искра должна функционировать надежно. Перебой в зажигании может привести к тому, что вся топливовоздушная смесь в цилиндре останется несгоревшей и попадет в выхлопную систему, где сгорит в катализаторе. Несколько перебоев в зажигании достаточно для того, чтобы повредить катализатор или вывести его из строя [5]. На рис. 5 представлена классификация возможных причин отказов системы зажигания.

По виду износа свечи зажигания, демонтированной из двигателя, можно судить о его работе. У свечи зажигания, извлеченной из исправно работающего двигателя, зоны вокруг электродов будут сухими, сероватого, белого, желтого или коричневого оттенков. Электроды и выступ изолятора не будут иметь явных признаков повреждения.

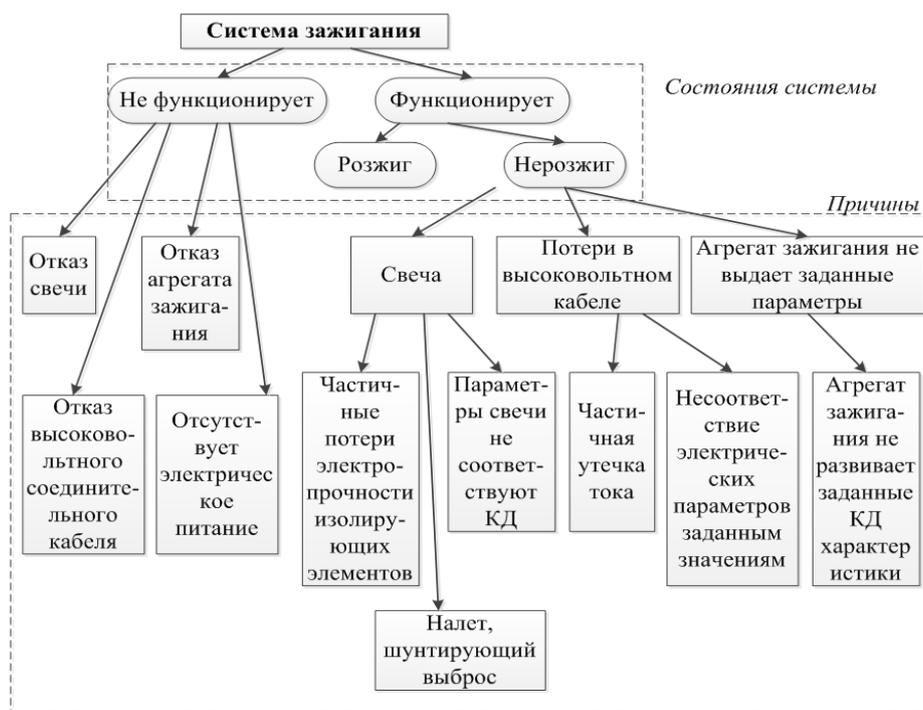


Рис. 5. Возможные причины отказов системы зажигания:
КД – конструкторская документация.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Описаны этапы создания автоматизированной системы управления качеством технологического процесса производства свечей зажигания и различных стадий их ЖЦ, в основе которой лежит построение обратных связей от этапов испытаний и эксплуатации на этапы их проектирования и изготовления.

В рамках информационной системы описаны элементы создания подсистемы диагностики и принятия решений, для чего был проведен анализ источников неисправностей, дефектов и брака свечей зажигания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Погорелов Г. И., Куликов Г. Г., Фатиков В. С., Багаева Ю. О.** Информационная поддержка жизненного цикла электронных систем управления ГТД на этапе эксплуатации // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, №3(43). С. 33–41. [G. I. Pogorelov, G. G. Kulikov, V. S. Fatikov, Y. O. Bagaeva, "The gas turbine engine electronic control systems lifecycle information support during the operational phase", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 3(43). pp. 33–41, 2011.]

2. **ГОСТ РВ 15.211-2002.** Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения. Введ. 2002-22-11. М.: Госстандарт России, 2002. 21 с. [*The system of product design and implementation in production. The military technics. The procedure for development of test samples and finished products testing programs and techniques. The main provisions.*, (in Russian), Federal standard RV 15.211-2002, Moscow, Gosstandart Rossii, 2002.]

3. **Куликов Г. Г., Ризванов К. А., Денисова С. С.** Архитектура интегрированной информационной модели для разработки, производства и эксплуатации ГТД совместно с его системой автоматического управления, контроля и диагностики // Вестник СГАУ. 2009. №3(19). С. 244–252. [G. G. Kulikov, K. A. Rizvanov, S. S. Denisova. "The integrated information model architecture for GTE working out, manufacture and operation together with its system of automatic control and diagnostics," (in Russian), in *Vestnik SGAU*, no. 3 (19), pp. 244-252, 2009.]

4. **Лютов А. Г., Загидуллин Р. Р., Схиртладзе А. Г., Огородов В. А., Рябов Ю. В., Чугунова О. И.** Компьютерные системы управления качеством для автоматизированных производств: учебник. М.: Машиностроение, 2010. 717 с. [A. G. Lutov, R. R. Zagidullin, A. G. Shirtladze, V. A. Ogorodov, Y. V. Ryabov, O. I. Chugunova, *Quality management computer systems for automated manufacturing*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 2010.]

5. **ГОСТ РВ 15.307-2002.** Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Испытания и приемка серийных изделий. Основные положения. Введ. 2002-30-10. М.: Госстандарт России, 2002. 21с. [*The system of product design and implementation in production. The military technics. Testing and acceptance of serial products. The main provisions.*, (in Russian), Federal standard RV15.307-2002, Moscow, Gosstandart Rossii, 2002.]

ОБ АВТОРАХ

ЛЮТОВ Алексей Германович, проф., зав. каф. автоматиз. технологич. процессов. Дипл. инж.-электроник (УАИ, 1985). Д-р техн. наук по сист. анализу, упр. и обработке инф. (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. упр. сложн. техн. объектами.

ИЛЬИН Александр Николаевич, доц. каф. стандартизации и сертификации. Дипл. инж. (УГАТУ, 1995). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. создания перспективных свечей и сист. зажигания, автоматиз. технологич. процессов, диагностики техн. объектов.

ФИЛОНИНА Евгения Александровна, асп. каф. автоматиз. технологич. процессов. Дипл. инж. (УГАТУ, 2011). Маг. (УГАТУ, 2013). Иссл. в обл. упр. качеством в автоматиз. производствах.

METADATA

Title: Quality improvement of spark plugs manufacture technological process and their operating properties on various stages of the life cycle.

Authors: A. G. Lutov¹, A. N. Ilin², E. A. Filonina³

Affiliation:

^{1,2,3} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹lutov1@mail.ru, ²aleksandr.ilin.71@mail.ru, ³filonina.ea@gmail.com

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 19, no. 4 (70), pp. 21-27, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Technological process quality requirements of spark plugs production are analyzed in the article. Spark plugs controllable and uncontrollable parameters, affecting the ignition and starting quality, are identified. The decision support system structure for spark plugs life cycle and the spark plugs production knowledge base structure are offered and justified.

Key words: Spark plugs; decision support system; knowledge base; product lifecycle.

About authors:

LUTOV, Alexey Germanovich, Prof., Head of Dept. of Automation of technological processes, Dipl. electronics engineer (USATU, 1985). Dr. of thec. Sci. on the system analysis, management and processing of information (USATU, 2005). The investigator in the field of automation and control of complex technological and production processes.

ILIN, Alexander Nikolaevich, Docent, Dept. of Standardization and Certification. Dipl. engineer (USATU, 1995). Ph.D. (USATU, 2000). The investigator in the field of advanced spark plugs and systems creation, technological processes automation, technical objects diagnosis.

FILONINA, Evgeniya Aleksandrovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Technological Processes Automation. Dipl. engineer (USATU, 2011). Master of Technics & Technology (UGATU, 2013). The investigator in the field of computer-aided manufacturing quality management.