

Интеллектуальная информационная система формирования требований при проектировании автомобильной техники

д.т.н. Л. А. Симонова¹, Д. Н. Демьянов¹, А. А. Капитонов^{1,2}

// ¹ Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 423821, Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10 А; ² Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ», 423815, Набережные Челны, Транспортный проезд, 70.

E-mail: lasimonova@mail.ru

Аннотация. В статье представлен способ повышения эффективности процесса проектирования автомобильной техники путем использования интеллектуальной информационной системы формирования требований. Система включает в себя модули, обеспечивающие автоматическое формирование структуры и состава проектируемого автомобиля по требованиям заказчика, а также подсистему формирования полного набора технических требований к разрабатываемому изделию. **Ключевые слова:** проектирование автомобиля, база требований, база правил, база прецедентов, интеллектуальная информационная система.

Abstract. The article proposes to improve the efficiency of the process of designing automotive equipment by using an intelligent information system for the formation of requirements. The system includes modules that provide automatic formation of the structure and composition of the designed vehicle according to customer requirements, as well as a subsystem for the formation of a complete set of technical requirements for the developed product. **Keywords:** vehicle design, requirements base, rule base, use case base, intelligent information system.

Одна из ключевых особенностей автомобильной промышленности в настоящее время — высокий темп создания новых моделей транспортных средств. При этом на этапах проектирования и производства закладывается надежность конструкции новых автомобилей, полное использование потенциальных возможностей которых обеспечивается при их эксплуатации [1]. Поэтому на этапе проектирования конструкций автомобилей необходимо принимать комплекс мер по обеспечению работоспособности и реализации требуемых характеристик в процессе эксплуатации.

Таким образом, несмотря на постоянный технический прогресс в области автомобилестроения, разработка новых обоснованных подходов к эксплуатации с учетом ее условий и повышение комплексной конструктивной безопасности автомобильной техники на стадии проектирования согласно установленным техническим требованиям, реализуемым в конструкции транспортного средства, весьма актуальны. Верификация разработанной конструкторской документации на соответствие этим техническим требованиям на этапе предварительных испытаний потребовала создания механизмов контроля соответствия автотранспортных средств установленным требованиям [2].

В Российской Федерации в настоящее время на государственном уровне составлен комплекс обязатель-

ных требований, предъявляемых к автотранспортным средствам различных категорий, реализуемых в их конструкции на стадии проектирования и обеспечивающих снижение риска причинения вреда участникам дорожного движения и окружающей среде.

Эти требования изложены в нормативных документах, к числу которых относят: Технический регламент Таможенного союза ТРТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», утвержденный Решением комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 877, правила Европейской экономической комиссии ООН в части, соответствующей Техническому регламенту Таможенного союза, ISO, ETSI TR, DIN EN. Кроме того, предприятия автомобильной отрасли, как правило, разрабатывают собственные внутренние регламентирующие документы, включающие в себя технические условия, требования и задания для отдельных систем, программ и методик проведения испытаний и предназначенные для конкретизации и дополнения требований стандартов.

Большое число нормативной документации, с которой работает инженер-конструктор, не позволяет качественно и в короткие сроки сформировать необходимый пакет требований при проектировании структуры разрабатываемого автомобиля. Поэтому важной практической задачей стало создание специализированного инструментария, способного повысить эффективность работы проектировщика [3].

Решение этой задачи требует создание интеллектуальной информационной системы формирования требований при проектировании автомобильной техники [4]. В настоящее время технология экспертных систем получила широкое распространение. Существуют значительные отличия между разработками такой системы и обычного программного продукта. Дело в том, что в первом случае необходимо решение неформализованных задач, создание базы знаний на основе знаний экспертов. При этом нужно предусмотреть применение элементов искусственного интеллекта, позволяющих обеспечить самообучение системы и гибкий переход на проектирование современных моделей автомобиля с различным набором компонентов в зависимости от изменяющихся требований [5 и 6].

Структура системы формирования требований

Одним из способов решения поставленной задачи служит применение интеллектуальной информационной системы, общая структура которой показана на рис. 1. В состав данной системы входят два основных модуля (интеллектуальный configurator и подсистема работы с требованиями), а также программные и пользовательские интерфейсы для взаимодействия с внешними информационными системами, заказчиком, проектировщиком и экспертом (на рисунке не показаны).



Рис. 1. Структура информационной системы

Модуль «Интеллектуальный configurator» предназначен для формирования структуры и состава проектируемого автомобиля на основании требований, предъявляемых заказчиком. Его основные элементы — подсистема конфигурирования, база правил конфигурирования и база прецедентов. База прецедентов хранит информацию о всех поступавших ранее запросах заказчиков и соответствующих им конфигурациях транспортных средств.

База правил конфигурирования содержит в формализованном виде знания экспертов о том, как структура и состав транспортного средства, а также характеристики его основных узлов и агрегатов связаны с потребительскими свойствами, обеспечения которых требует заказчик. Подсистема конфигурирования в интерактивном режиме осуществляет обработку запросов заказчика, предоставляя ему возможные конфигурации проектируемого транспортного средства.

Эксперт в области автомобилестроения, имеющий доступ к модулю «Интеллектуальный configurator» производит настройку и пополнение базы правил конфигурирования и его привлекают к процессу выбора структуры и состава проектируемого автомобиля в следующих случаях: а) если требования заказчика достаточно сложные и не типовые, в базе прецедентов отсутствуют близкие по параметрам аналоги, а в базе правил конфигурирования недостаточно информации для обработки запроса (такая ситуация возможна, например, при создании уникальной спецтехники); б) если в процессе работы подсистемы возникают несколько вариантов возможных конфигураций автомобиля, удовлетворяющих требованиям заказчика (в этом случае эксперта привлекают для выбора наилучшего решения с учетом его опыта и неформализованных знаний).

Модуль «Подсистема работы с требованиями» предназначен для формирования полного набора технических требований к проектируемому автомобилю на основе имеющейся информации о его структуре и составе. Основными элементами подсистемы служит подсистема парсинга, база требований и справочники. Справочники включают в себя полный список узлов и агрегатов автомобиля, а также перечень характеризующих его опций. Справочник представляет собой модульную структуру автомобиля (SuperBOM), содержащую электронную структуру всех возможных вариаций и комплектаций автомобиля, конфигурируемую по соответствующим правилам (в результате конфигурирования происходит формирование однозначного состава автомобиля).

База требований содержит структурированный перечень нормативных требований, ассоциированных с теми или иными узлами (агрегатами) автомобиля и его опциями. Базу требований регулярно пополняет и актуализирует модуль путем обработки нормативной документации, поступающей из внешней базы данных или иной информационной системы. Для обработки документации он использует подсистему парсинга, общая структура которой показана на рис. 2.

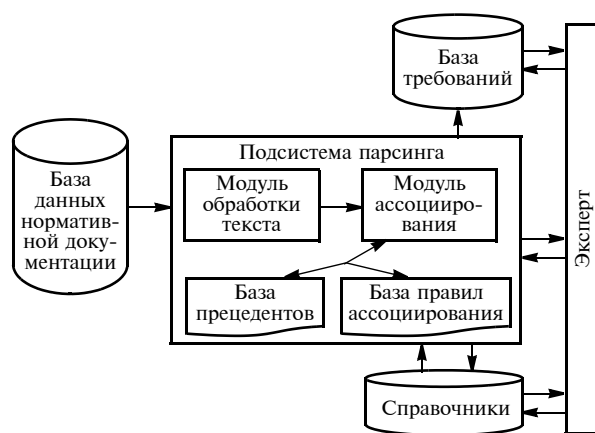


Рис. 2. Структура подсистемы парсинга

Таблица 1

ЕСЛИ	ТО
«Тип груза — контейнеры» И «Тип трассы — автомагистраль»	«Категория ТС — N3» И «Тип ТС — тягач в составе автопоезда» И «Колесная формула 4×2» И «Тип подвески — пневмоподвеска» И «Тип трансмиссии — АКПП»
«Тип груза — все (в том числе негабаритные)» И «Тип трассы — пересеченная местность»	«Категория ТС — N3G» И «Тип ТС — бортовой автомобиль» И («Колесная формула 6×4» ИЛИ «Колесная формула 6×6» ИЛИ «Колесная формула 8×8»)
«Тип груза — сыпучие вещества» И «Тип трассы — все»	«Тип ТС — самосвал» И «Категория ТС — N3G» И («Колесная формула 6×4» ИЛИ «Колесная формула 8×4» ИЛИ «Колесная формула 6×6» ИЛИ «Колесная формула 8×8»)

Она осуществляет в автоматическом режиме разбиение поступающих документов на отдельные блоки и ассоциирует эти блоки с узлами (агрегатами) автомобиля и его опциями. Эксперт в области автомобилестроения с доступом к модулю «Подсистема работы с требованиями» производит настройку и пополнение базы требований, а также участвует в обработке поступающей нормативной документации, если подсистема парсинга не смогла по каким-то причинам ассоциировать текст нормативного документа с какими-либо элементами справочников.

Сформированные в процессе работы подсистемы состав и структуру автомобиля, а также полный перечень технических требований к его узлам и агрегатам передают проектировщику, который осуществляет разработку проектной и рабочей документации.

Принципы взаимодействия элементов системы

Общую логику работы предлагаемой автоматизированной информационной системы можно представить следующим образом.

На начальном этапе заказчик с помощью пользовательского интерфейса прибегает к подсистеме конфигурирования и в интерактивном режиме выбирает структуру и состав создаваемого автомобиля. При этом он может работать в двух режимах: 1) выбор необходимых параметров автомобиля: полная масса, число осей, тип и мощность двигателя, тип трансмиссии, тип подвески и др.; 2) настройка его потребительских характеристик: максимальная грузоподъемность, удельный расход топлива, максимальная скорость, тип перевозимых грузов, условия перевозки грузов и т. д.

Анализируя запросы пользователя, подсистема формирует соответствующие им конфигурации автомобиля и предлагает их заказчику на выбор. При этом процедура анализа включает в себя три основных этапа: 1) начальное конфигурирование, 2) поиск по базе прецедентов и 3) формирование итоговой комплектации.

Начальное конфигурирование проектируемого автомобиля подсистема производит на основе базы правил, сформулированных экспертами в соответствующей предметной области [7]. Продукционные правила, входящие в базу, имеют структуру ЕСЛИ «Условие» — ТО «Результат», причем их составные части могут быть объединены стандартными логическими операциями (И, ИЛИ, НЕ). Примеры продукционных правил конфигурирования приведены в табл. 1.

Далее по базе прецедентов подсистема осуществляет поиск предлагавшихся ранее конфигураций транспортных средств, характеристики которых наиболее близки к запрашиваемым заказчиком значениям, и определение на их основе параметров проектируемого автомобиля. Процедура расчета включает в себя следующие этапы.

1. Из базы прецедентов отбирает все N экземпляров, конфигурация которых соответствует выбранной для

проектируемого автомобиля (категория, тип, число осей, тип трансмиссии, тип подвески и т. д.).

2. Для каждого из отобранных прецедентов определяет d_i — меру близости к проектируемому автомобилю по множеству потребительских характеристик:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_j^*)^2}, \quad (1)$$

где x_{ij} — нормированное значение j -й потребительской характеристики i -го прецедента; x_j^* — нормированное значение j -й потребительской характеристики для проектируемого автомобиля.

Нормированное значение характеристики x определяется с помощью процедуры минимакс-нормализации по следующему правилу: $x = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, где X — абсолютное значение характеристики; X_{\min} и X_{\max} — минимальное и максимальное значения характеристики на выбранном множестве прецедентов.

3. Из выбранных на первом этапе прецедентов отбирает все n экземпляров, для которых выполнимо условие: $d_i \geq d_{\min} + \varepsilon$, где d_{\min} — наименьшее значение d_i , определяемое соотношением (1); ε — заданная величина допустимого отклонения в пространстве характеристик.

Параметр ε характеризует число прецедентов, чьи конфигурации системы используют для последующей оптимизации параметров. Если $\varepsilon = 0$, то как начальную конфигурацию применяет только ближайший прецедент (или несколько прецедентов, если для них значение d_i одинаково). Если $\varepsilon = 1 - d_{\min}$, то в качестве начальных конфигураций будут взяты все отобранные на первом этапе прецеденты. Значение параметра ε в настоящее время определяют эмпирическим путем в процессе настройки системы, при этом обеспечивается баланс между числом начальных конфигураций и общим временем проведения расчетов.

4. Каждый из отобранных на третьем этапе прецедентов система принимает в качестве начальных условий для решения задачи условной оптимизации значе-

ний потребительских характеристик по допустимому множеству параметров P автомобиля:

$$d_k^* = \inf_P(d_k), \quad (2)$$

при ограничении:

$$\forall j : x_{kj} \geq x_j^*. \quad (3)$$

5. Если задача (2) не имеет решения на множестве P при ограничениях (3), то значения x_j^* следует уменьшить на величину Δ и вернуться к этапу 4. Такая ситуация возможна, если запрашиваемое заказчиком сочетание характеристик автомобиля в настоящее время крайне тяжело реализовать (например, одновременно обеспечить высокую грузоподъемность и малый удельный расход топлива). В этом случае рекомендовано снизить требования, предъявляемые к проектируемому автомобилю, и повторить процедуру поиска.

Система предлагает заказчику сформулированные таким образом варианты конфигураций автомобиля вместе с примерной оценкой потребительских свойств и стоимости транспортного средства. На этом этапе заказчик может скорректировать свои требования и переконфигурировать автомобиль по своему усмотрению. В случае возникновения каких-либо затруднений к работе привлекают эксперта, который может предложить выбор конкретной конфигурации на основе неформализованных знаний и опыта.

После определения состава и структуры проектируемого автомобиля происходит автоматическое формирование перечня технических требований с использованием специализированной подсистемы. Указанная подсистема содержит в себе полную базу технических требований, изложенных в нормативной документации, и ассоциированных с основными узлами/агрегатами автомобиля и его опциями. К нормативной документации относят: а) технический регламент Таможенного союза ТРТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», утвержденный Решением комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 877; б) правила Европейской экономической комиссии ООН в части, соответствующей Техническому регламенту Таможенного союза ТРТС 018/2011; в) стандарты ISO, DIN, ESTI и др., применяемые к транспортным средствам и их составным частям; г) внутренние требования и регламенты завода-изготовителя, а также иная нормативная документация по данной тематике.

В качестве дополнительных могут выступать следующие опции: категория и тип транспортного средства, тип перевозимых грузов, наличие дополнительного оборудования и т. д.

В зависимости от выбранного состава и структуры разрабатываемого транспортного средства из базы требований подсистема отбирает только те технические требования, которые соответствуют реализуемой конфигурации.

Формирование, пополнение и актуализация базы требований — все это происходит автоматически через установленные интервалы времени с использованием специализированной подсистемы. Этот процесс включает в себя следующие этапы.

1. Анализ содержащихся во внешней базе данных или информационной системе нормативных документов; создание перечня документов, которые были добавлены, изменены или прекратили свое действие.

2. Загрузка текстов выбранных нормативных документов из внешней базы или иной информационной системы.

3. Разбиение текстов нормативных документов на логические блоки. В качестве логических блоков могут выступать: фрагмент текста между двумя переводами каретки; ячейка таблицы; графический объект.

4. Ассоциация логических блоков с элементами автомобиля и/или опциями путем применения базы прецедентов и базы правил ассоциирования. База правил ассоциирования также основана на продукционных правилах, имеющих структуру ЕСЛИ «Условие» — ТО «Результат». В качестве исходных условий она использует ключевые слова и словосочетания, встречающиеся в текстах нормативных документов. Примеры продукционных правил ассоциирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

ЕСЛИ	ТО
«загрязняющие газообразные выбросы» ИЛИ «вредные вещества» ИЛИ «вредные выбросы» ИЛИ «твердые частицы»	«Установка модуля силового агрегата» И «Модуль системы выпуска и нейтрализации»
«механизм измерения скорости» ИЛИ «одометр» ИЛИ «датчик скорости»	«Установка панели приборов» И «Модуль коробки передач»
«устройство ограничения скорости» ИЛИ «максимальная скорость» ИЛИ «число оборотов двигателя»	«Модуль двигателя» И «Модуль прошивок двигателя» И «Модуль топливоподачи»

База прецедентов включает в себя сигнатуры логических блоков нормативной документации, ранее размещенных в базе и ассоциированных с элементами автомобиля и опциями. При появлении нового логического текстового блока происходит вычисление его сигнатуры и выбор элементов структуры автомобиля и опций, соответствующих наиболее близким к нему прецедентам.

Если по каким-то причинам ассоциацию логических блоков нормативной документации с элементами структуры автомобиля и опциями произвести невозможно, к работе привлекают эксперта в соответствующей предметной области. Он же осуществляет обновление и пополнение базы правил ассоциирования, а также удаление требований, которые прекратили действие.

Полученные в процессе работы системы данные о структуре и составе автомобиля, а также полный перечень технических требований к его узлам и агрегатам передают проектировщику.

Выводы

1. В работе предложена структура и описаны общие принципы и алгоритмы функционирования интеллектуальной информационной системы, предназначенной для повышения эффективности процесса проектирования автомобильной техники. В дальнейшем предусмотрено внедрение предлагаемой системы на предприятиях автомобильной отрасли, корректирование и совершенствование алгоритмов ее работы.

2. В случае успешного внедрения разработанная информационная система способна стать важным элементом системы управления жизненным циклом перспективных транспортных средств. Кроме того, структура и общие принципы функционирования предложенной системы могут быть использованы для улучшения качества процесса проектирования и иной сложной техниче-

ской продукции, параметры которой нередко персонализированы и к характеристикам которой предъявляют значительное число разнородных требований.

Список литературы

1. Белоусов Б. Н. Парадигма современного автомобилестроения // Автомобильная промышленность. — 2019. — № 1. — С. 8–10.
2. Gebhard B., Rapp M. Requirements management for automotive systems development // SAE 2000 World Congress. — 2000. — № 90461.
3. Zhang P., Gao J., Wang Y. Requirement driven knowledge management system design to support automotive product development // International Journal of Product Life cycle Management. — 2011. — Vol. 5. — Is. 2–4. — P. 202–223.
4. VanTuijl E., Carvalho L. Knowledge sourcing, knowledge bases, and the spatial organisation of car design // Environment and Planning A. — 2014. — Vol. 46. — Is. 8. — P. 1966–1982.
5. Simonova L. A., Egorov B. E. Knowledge models in a smart information system for tool selection and delivery // Russian Engineering Research. — 2015. — № 34. — P. 811–813.
6. Fayoumi A., Loucopoulos P. Conceptual modeling for the design of intelligent and emergent information systems // Expert Systems with Applications. — 2016. — Vol. 59. — P. 174–194.
7. Kamsu-Foguem B., Rigal F., Mauget F. Mining association rules for the quality improvement of the production process // Expert Systems with Applications. — 2013. — Vol. 40. — Is. 4. — P. 1034–1045.

Поступила в редакцию 19.02.2020; после доработки 19.02.2020; принята к публикации 19.02.2020.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

УДК 631.3.004.67

Математическая модель прогноза эрозионной стойкости анода при электроискровой наплавке

д.т.н. С. А. Величко¹, к.т.н. А. В. Мартынов¹, к.т.н. И. С. Кузнецов², И. Х. Хасан³

¹ // 1 ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», РФ, Республика Мордовия, г. Саранск;

² ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», РФ, г. Орел;

³ Министерство науки и технологий, отделение материаловедения, Ирак, г. Багдад.

E-mail: Velichko2005@yandex.ru, martynov-230685@yandex.ru, Ivan-654@yandex.ru, srorismael@gmail.com

Аннотация. Толщина покрытия, полученная методом электроискровой наплавки (ЭИН), зависит от эрозионной стойкости электрода-анода. С использованием методов теории подобия и анализа размерности разработана математическая модель, учитывающая влияние параметров электроискровой установки, теплофизические и механические характеристики материала электрода и его размера, параметры микрогеометрии поверхности анода в зоне контакта и нагрузку на электрод. Математическая модель позволяет планировать целевые экспериментальные исследования с целью более полного раскрытия или уточнения влияния отдельных факторов на эрозию электрода-анода. **Ключевые слова:** электроискровая наплавка, электрод-анод, эрозионная стойкость, толщина покрытия, сила тока.

Abstract. The thickness of the coating obtained by electric spark surfacing depends on the erosion resistance of the electrode-anode. Using the methods of similarity theory and dimensional analysis, the authors have developed a mathematical model that takes into account the influence of the parameters of the electric spark installation, the thermophysical and mechanical characteristics of the electrode ma-

terials, the size of the electrode, the microgeometry parameters of the anode surface in the contact zone and the load on the electrode. The mathematical model makes it possible to plan targeted experimental studies in order to more fully disclose or clarify the influence of specific factors on the erosion of the electrode-anode. **Keyword:** electric spark deposition welding, the electrode is the anode, the erosion resistance, coating thickness, current.

Один из главных показателей эффективности электроискровой наплавки (ЭИН), — толщина нанесенного слоя, определяемая эрозионной стойкостью электрода-анода.

Тепловое состояние анода представлено в форме дифференциального уравнения в частных производных [1]:

$$C_p \frac{\partial T}{\partial t} = q + \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где T — температура, отсчитанная от температуры окружающей среды T_0 , как от нуля; t — текущее время; $x, y,$