

Алиев Омар Гамзатович, бакалавр

Нижегородский государственный технический университет

им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Говяжова Софья Александровна, бакалавр

Нижегородский государственный технический университет

им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Поманисточка Тихон Александрович, бакалавр

Нижегородский государственный технический университет

им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

PDM-СИСТЕМЫ КАК ИНФРАСТРУКТУРНАЯ ОСНОВА CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫМИ ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ АТРИБУТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация. Предметом исследования является атрибутивная модель конфигурации изделия, реализуемая средствами PDM-системы, объектом — инженерные данные, циркулирующие между участниками жизненного цикла в контуре CALS-технологий. Применялись системный анализ функций PDM, теоретико-множественная формализация конфигурационной модели и апробация на программно-аппаратном комплексе управления двигателем постоянного тока для мобильных робототехнических платформ, выпускаемом в нескольких исполнениях. Обоснован переход от хранения отдельной спецификации на каждое исполнение к описанию базового состава изделия набором атрибутов и правил применимости. Показано, что такой переход сокращает объём хранимых спецификаций, исключает их рассинхронизацию и обеспечивает автоматический вывод состава исполнения по заданному конфигурационному вектору.

Ключевые слова: PDM-система, CALS-технологии, управление конфигурацией, атрибутивная модель, инженерные данные, электронная структура изделия, правила применимости, двигатель постоянного тока.

PDM SYSTEMS AS THE INFRASTRUCTURAL BASIS OF CALS TECHNOLOGIES IN ENGINEERING DATA MANAGEMENT BASED ON ATTRIBUTE CONFIGURATION MODELS

***Abstract.** The subject of the study is an attribute configuration model of a product implemented by means of a PDM system; the object is the engineering data circulating between life cycle participants within the CALS environment. System analysis of PDM functions, set-theoretic formalization of the configuration model and validation on a hardware and software complex for DC motor control produced in several variants were applied. A transition from storing a separate bill of materials for every variant to describing a base product structure by attributes and applicability rules is substantiated. The transition reduces the volume of stored specifications, eliminates their desynchronization and provides automatic derivation of a variant structure from a given configuration vector.*

***Key words:** PDM system, CALS technologies, configuration management, attribute model, engineering data, product breakdown structure, applicability rules, DC motor.*

Актуальность исследования

Идеология CALS предполагает, что данные об изделии создаются однократно и используются всеми участниками жизненного цикла (ЖЦ) без повторного ввода. Требования к интероперабельности систем промышленной автоматизации закреплены ГОСТ Р 55062-2012 [3], нейтральное представление данных — ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 [4]. Реализация упирается в то, что носителем единственного достоверного экземпляра данных должна выступать конкретная система, а не соглашение о форматах обмена.

Такую роль выполняет PDM-система: она хранит электронную структуру изделия (ЭСИ) по ГОСТ 2.053-2013 [2] и электронные документы по ГОСТ 2.051-2013 [1], связывая их с маршрутами согласования и правами доступа. Отдельная сложность возникает при выпуске изделия в нескольких исполнениях:

число вариантов растёт мультипликативно, и хранение самостоятельной спецификации на каждое исполнение быстро становится неуправляемым. Атрибутивная модель конфигурации описывает варианты набором признаков и правил применимости, что и определяет актуальность её проработки.

Обзор научной литературы по теме статьи

Исследования интеграции инженерных данных показывают, что качество интеграции определяется единой идентификацией объектов и наличием общей модели данных: в [7, с. 57] эта роль отводится онтологическому описанию предметной области, в [8, с. 71] — событийному представлению состояния объекта. Методология описания полного ЖЦ с классификацией моделей по уровням сложности рассмотрена в [5, с. 42], организационные аспекты внедрения информационных моделей на предприятии — в [6, с. 88].

Перечисленные работы сосредоточены на моделировании поведения изделия и на процессах внедрения, тогда как управление конфигурацией на атрибутивной основе в контуре PDM рассматривается фрагментарно: стандарты [1–4] задают форму представления данных, но не описывают правил вывода состава конкретного исполнения из базового состава изделия.

Постановка проблемы исследования

Объектом исследования выступают инженерные данные об изделии, циркулирующие между подразделениями предприятия, предметом — атрибутивная модель конфигурации, реализуемая средствами PDM-системы. Проблема состоит в том, что при выпуске изделия в нескольких исполнениях предприятие вынуждено вести отдельную спецификацию на каждое из них. Изменение одной детали требует правки всех спецификаций, где она применена; пропуск хотя бы одной приводит к рассинхронизации данных и ошибкам комплектации.

Задачи исследования: определить состав функций PDM, обеспечивающих требования CALS; сформировать теоретико-множественное описание атрибутивной модели конфигурации; задать правила применимости и процедуру

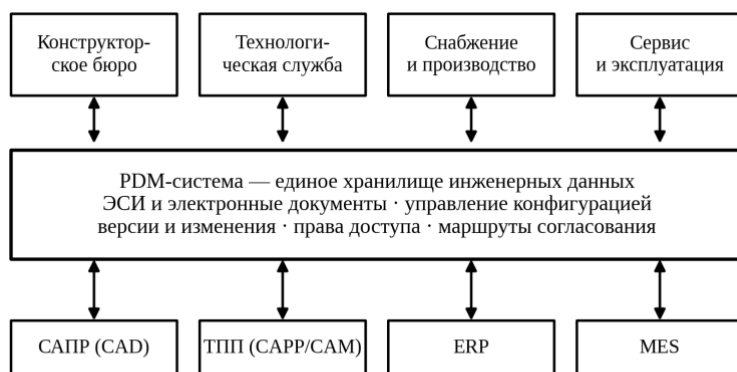
вывода состава исполнения; ввести показатель компактности описания; выполнить апробацию на программно-аппаратном комплексе (ПАК) управления двигателем постоянного тока (ДПТ) для мобильных робототехнических платформ.

Описание и обоснование методологии исследования

Методология включает функциональный анализ PDM-системы, формализацию конфигурационной модели и проверку на реальном изделии. Соответствие функций PDM задачам CALS приведено в таблице 1, положение PDM-системы в информационной инфраструктуре предприятия — на рис. 1.

Таблица 1. Соответствие функций PDM-системы задачам CALS-технологий

Функция PDM-системы	Задача CALS	Объект управления
Ведение ЭСИ	Однократный ввод данных о составе изделия	Состав изделия
Управление документами	Единый электронный архив	Электронные документы
Управление изменениями	Прослеживаемость решений	Извещения об изменении
Управление конфигурацией	Описание исполнений изделия	Атрибуты и правила
Версионирование	Актуальность данных у всех участников	Версии объектов
Разграничение доступа	Защищённый обмен данными	Права пользователей
Экспорт в нейтральный формат	Интероперабельность систем	Файлы обмена (STEP, XML)



Нейтральные форматы обмена по ГОСТ Р ИСО 10303 (STEP), XML

Рис. 1. PDM-система как инфраструктурный слой информационной среды предприятия

Атрибутивная модель конфигурации изделия описывается кортежем

$$M = \langle B, D, A, R, \Phi \rangle, \quad (1)$$

где B — базовый состав изделия; D — множество деталей и сборочных единиц, потенциально входящих в изделие; $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ — множество атрибутов конфигурации; R — множество правил применимости; Φ — функция применимости. Конфигурационный вектор задаётся набором значений атрибутов

$$k = (a_1 = v_1, \dots, a_n = v_n), \quad k \in K = V_1 \times \dots \times V_n, \quad (2)$$

где V_i — область допустимых значений атрибута a_i . Функция применимости $\Phi: D \times K \rightarrow \{0, 1\}$ определяет, входит ли объект d в состав изделия при конфигурации k . Состав конкретного исполнения выводится выражением

$$S(k) = \{d \in D \mid \Phi(d, k) = 1\}, \quad (3)$$

то есть спецификация исполнения не хранится, а вычисляется по требованию. Часть сочетаний атрибутов технически нереализуема, поэтому вводится множество допустимых конфигураций $K_{\text{доп}} \subseteq K$, задаваемое ограничениями R . Компактность описания оценивается коэффициентом

$$\gamma = |K_{\text{доп}}| \cdot |B| / (|B| + |R|), \quad (4)$$

показывающим, во сколько раз атрибутивное описание компактнее набора отдельных спецификаций: числитель равен числу записей о применяемости при раздельном хранении, знаменатель — их числу в атрибутивной модели. Значение $\gamma > 1$ означает выигрыш. Схема вывода состава исполнения показана на рис. 2.



Рис. 2. Схема вывода состава исполнения из атрибутивной модели конфигурации

Результаты исследования

Модель применена к ПАК управления ДПТ мобильной робототехнической платформы. Выделено четыре атрибута конфигурации: напряжение питания (12 или 24 В), тип датчика обратной связи (датчики Холла или энкодер), интерфейс верхнего уровня (CAN или UART) и передаточное отношение редуктора (1 или 20). Декартово произведение даёт 16 сочетаний, из которых правилами применимости отсеяно пять: исполнение на 12 В не сочетается с редуктором $i = 20$ по располагаемому моменту, а энкодер не применяется с интерфейсом UART из-за ограничений по частоте опроса.

Базовый состав изделия включает 34 позиции, из них 21 входит во все исполнения, а 13 управляются атрибутами; общее число правил применимости составило 17. Хранение отдельных спецификаций потребовало бы $11 \times 34 = 374$ записи о применяемости против 51 записи в атрибутивной модели, что по формуле (4) даёт $\gamma = 11 \cdot 34 / (34 + 17) \approx 7,3$.

Спецификация конкретного исполнения формируется выборкой по правилу (3) непосредственно в PDM-системе. Результаты сопоставления двух способов ведения данных приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение способов ведения данных об исполнениях изделия

Показатель	Отдельные спецификации	Атрибутивная модель
Число хранимых записей о применяемости	374	51
Правок при замене одной детали	до 11	1
Время формирования спецификации	ручной подбор	выборка по (3)
Риск рассинхронизации исполнений	высокий	исключён
Число допустимых исполнений	11	11

Проверка выполнена сопоставлением спецификаций, полученных выборкой по (3), с ранее выпущенными вручную: расхождения обнаружены в двух исполнениях и связаны с тем, что при замене датчика тока в ручных спецификациях была обновлена не вся группа применения. Атрибутивная

модель такую ошибку исключает, поскольку деталь описана в базовом составе однократно.

Обсуждение результатов исследования и выводы

Полученные результаты показывают, что PDM-система выполняет роль инфраструктурного слоя CALS-контура: она замыкает на себя обмен между САПР, системами технологической подготовки производства и учётными системами, а нейтральные форматы по ГОСТ Р ИСО 10303 [4] обеспечивают вынос данных за пределы предприятия. Атрибутивная модель конфигурации переносит акцент с хранения результата на хранение правил его получения, что согласуется с подходом к описанию изделия через модель и её параметры [5, с. 43].

Ограничением подхода является трудоёмкость первичного задания правил применимости: для рассмотренного изделия 17 правил формулировались вручную и требовали согласования с конструктором и технологом. При росте числа атрибутов объём проверок увеличивается, поэтому для крупных изделий необходима автоматизированная проверка непротиворечивости правил.

Таким образом, определён состав функций PDM, обеспечивающих требования CALS-технологий, предложена атрибутивная модель конфигурации (1)–(3) и показатель компактности описания (4). Апробация на ПАК управления двигателем постоянного тока подтвердила сокращение числа записей о применимости с 374 до 51 при сохранении полного покрытия одиннадцати исполнений и исключила рассинхронизацию данных при изменении состава. Дальнейшее развитие работы связано с автоматической проверкой непротиворечивости правил применимости и с распространением модели на технологическую документацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2.051-2013. ЕСКД. Электронные документы. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

2. ГОСТ 2.053-2013. ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

3. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

4. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы. М.: Госстандарт России, 2000. 27 с.

5. Жабицкий М. Г., Андриенко Ю. А., Конев Ю. Н., Свердлик Г. В., Малышев В. Н. Концепция инструментов цифрового моделирования комплексных технологий на полном жизненном цикле инновационных производств // International Journal of Open Information Technologies. 2025. Т. 13. № 8. С. 41–50. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/2251> (дата обращения: 19.08.2026).

6. Крупенин Д. Адаптация модели жизненного цикла цифровых продуктов для промышленных предприятий: матрица принятия решений для управления B2B и внутренними инициативами // International Journal of Open Information Technologies. 2025. Т. 13. № 11. С. 83–104. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/2233> (дата обращения: 19.08.2026).

7. Куприяновский В. П., Климов А. А., Воропаев Ю. Н., Покусаев О. Н., Добрынин А. П. Цифровые двойники на базе развития технологий BIM, связанные онтологиями, 5G, IoT и смешанной реальностью // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 3. С. 55–74. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/906> (дата обращения: 19.08.2026).

8. Намиот Д. Е., Покусаев О. Н., Куприяновский В. П., Жабицкий М. Г. Цифровые двойники и системы дискретно-событийного моделирования // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 2. С. 70–75. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/1071> (дата обращения: 19.08.2026).

© *Алиев О.Г., Говяжова С.А., Поманисточка Т.А., 2026.*