

УДК 004.051

Погосян М.А., Злыгарев В.А., Стрелец Д.Ю., Юрин В.Н., Яценко Б.В.
ОАО «ОКБ Сухого». Россия, г. Москва

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ



Главный редактор проф. Братухин А.Г. обсуждает с рецензентом член-корр. РАН Погосяном М.А. концепцию «Международной энциклопедии CALS-технологии. Авиационно-космическое машиностроение»

Анотація

На основі міжнародних стандартів і з врахуванням власного досвіду підприємств розглядаються критерії якості геометричних даних електронних моделей деталей і складальних одиниць виробу, організація контролю якості на всіх стадіях формування актуального електронного макету з подальшим його аналізом для відповідного коректування нормативної документації. При аналізі процесів формування геометричних даних запропоновані концептуальні вирішення подолання проблем достовірного інформаційного обміну при роботі в гетерогенному середовищі САПР з використанням нейтрального формату STEP.

Abstract

On the basis of the international standards and taking into account a private experience of the enterprises criteria of quality of the geometrical given electronic models of details and assembly units of a product, the quality assurance organization at all stages of formation of an actual electronic breadboard model with its subsequent analysis for corresponding updating of the standard documentation are considered. At the analysis of processes of formation of the geometrical data conceptual decisions of overcoming of problems of an authentic information exchange are

offered at work in heterogeneous CAD environment with use of neutral format STEP.

С широким использованием прикладных информационных технологий, развитием совместного, территориально распределенного создания наукоемких изделий машиностроения их проектирование, производство и эксплуатация всё более зависят от электронных данных об изделиях, что обуславливает актуальность проблемы качества этих данных [1].

Качество данных электронной модели изделия (ЭМИ) — степень соответствия совокупности её свойств требованиям выполнять функции источника достоверной легитимной информации об изделии на всём протяжении жизненного цикла изделия (ЖЦИ) при сохранении доступности информации для всех пользователей, имеющих права доступа. Как отмечено в [2], хорошее качество данных означает предоставление правильных данных определенным пользователям в требуемое время (в оригинале: the right data to the right people at the right time). Таким образом, речь идет о формировании актуальной ЭМИ, готовой к использованию в любой момент времени ЖЦИ в соответствии с потребностями пользователя.

В любой ЭМИ можно выделить ряд видов ее структурных элементов, показанных на рис. 1

ЭМИ содержит электронные геометрические модели в виде набора геометрических данных и атрибутов (свойств, характеристик, реквизитов и других данные), необходимых для изготовления, контроля, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. Геометрические данные — это характеристики геометрических и топологических объектов, составляющих ЭМИ.

Проблемы с качеством геометрических данных ЭМИ возникают вследствие некорректного использования при построении ЭМИ и/или конвертировании способа и точности задания геометрических элементов, не соответствующих требованиям потребителей этих данных. В табл. 1 показаны примеры искажения визуальных представлений геометрических моделей деталей самолета SSJ 100 при их передаче между системами CATIA и Unigraphics NX вследствие ошибок конвертирования данных.

Несоответствующее качество данных ЭМИ, включая данные, обрабатываемые различными автоматизированными системами (CAD, CAE, CAM,

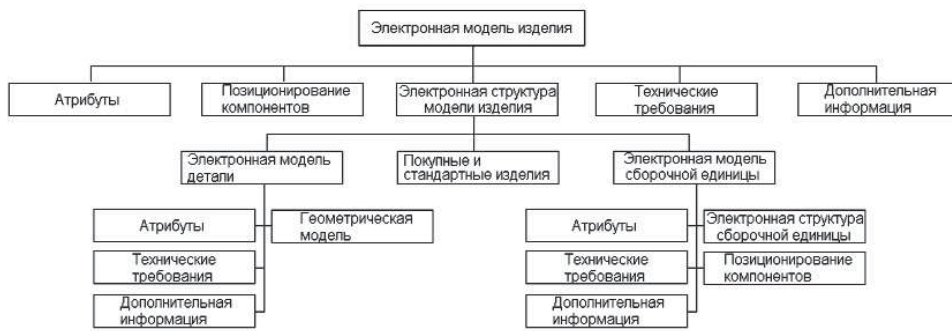

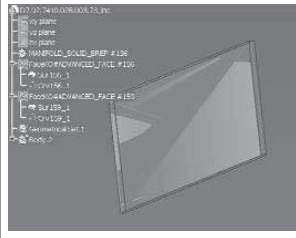
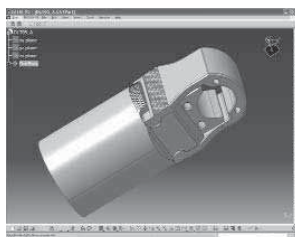
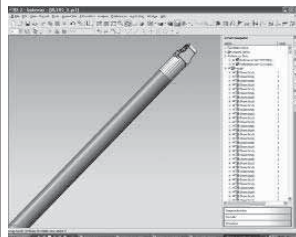


Рис. 1. Виды структурных элементов ЭМИ и их взаимосвязи

1. АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ

Для организации эффективного контроля и повышения качества геометрических данных ЭМИ

Таблица 1

Пример UC01	
Передающая система	Принимающая система
Unigraphics NX	CATIA v.5 rel.16
	
Пример CU04	
Передающая система	Принимающая система
CATIA v.5 rel.16	Unigraphics NX
	

проведен анализ формирования таких данных при характерной для наукоемкого машиностроения работе в гетерогенной среде САПР и использовании при информационном обмене (ИО) между CAD системами нейтрального формата STEP. В этом случае качество геометрических данных ЭМИ формируется [3] в результате цепи преобразований информации из 4-х итерационно выполняемых шагов, показанной на функциональной диаграмме смотри рис. 2: Замысел пользователя → ЭМИ в формате передающей системы (ЭМИ ПерС); ЭМИ ПерС → ЭМИ ПерС, скорректированная по результатам ее контроля (коррЭМИ ПерС); коррЭМИ ПерС → ЭМИ в формате STEP (ЭМИ STEP); ЭМИ STEP → ЭМИ в формате принимающей системы (ЭМИ ПриС). Более полная последовательность выполняемых работ приведена в перечне узлов функциональной модели формирования ЭМИ (рис. 3).

На каждом шаге преобразования информации по рис. 2 есть обратная связь выхода каждого шага с управлением на этом и предыдущих шагах для выполнения коррекции, т.е. итерации шагов выполняются по результатам контроля качества данных ЭМИ на каждом шаге преобразования информации при реализации процессов формирования модели. Результатом этих шагов могут быть

САПР и др.) и PDM-системами, создаст проблемы информационного обмена и использования данных, увеличивая время и финансовые затраты при разработке и производстве изделия. Как показывает практика формирования ЭМИ, данные, подвергаемые конвертированию, требуют до 20 чел.-час для лечения или повторного построения каждой соответствующей модели.

Обеспечение качества геометрических данных ЭМИ путем коррекции и/или предупреждения появления ошибок ЭМИ базируется на анализе формирования геометрических данных ЭМИ, регламентации критериев их качества и организации контроля этого качества.

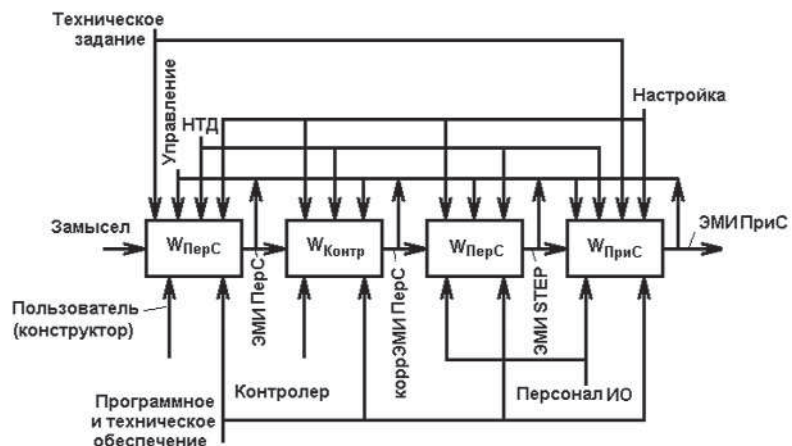


Рис. 2. Шаги преобразования информации при формировании ЭМИ

A0 Сформировать ЭМИ в общей базе данных изделия (ОБДИ)

A1 Конструировать изделие

- A1.1 Построить / скорректировать модель в ПерС
- A1.2 Проконтролировать модель исполнителем
- A1.3 Передать модель контролёру
- A1.4 Выработать корректирующие и предупреждающие действия при конструировании

A2 Контролировать качество данных электронной модели изделия

- A2.1 Проконтролировать качество данных модели
- A2.2 Передать модель для исправления несоответствий
- A2.3 Выработать корректирующие и предупреждающие действия при конструировании и контроле качества данных модели

A3 Архивировать электронную модель изделия

- A3.1 Занести электронную модель изделия в ОБДИ
- A3.2 Хранить электронную модель изделия
- A3.3 Восстановить электронную модель изделия
- A3.4 Проконтролировать архивирование электронной модели изделия
- A3.5 Выработать корректирующие и предупреждающие действия при размещении

Рис. 3. Перечень узлов функциональной модели формирования ЭМИ

события P_{ij} , приведенные в табл. 2 (i, j — номер события на i -том шаге преобразования). Каждое из них характеризуется определенной вероятностью, определяемой на основе анализа опыта

ИО или путем экспертного оценивания. Это позволяет определить вероятность появления каждого из возможных результатов любого шага, а в конечном итоге — вероятность получения несоответствия качества данных ЭМИ (НКД ЭМИ) после всех преобразований:

Таблица 2

Замысел → ЭМИ Перс	ЭМИ Перс → коррЭМИ Перс	коррЭМИ Перс → ЭМИ STEP	ЭМИ STEP → ЭМИ ПриС
P1.0 Без ошибок	P2.0 Без ошибок	P3.0 Без ошибок	P4.0 Без ошибок
P1.1 ЭМИ Перс с дефектными элементами	P2.1 Необнаруженные контролем ошибки исходной ЭМИ	P3.1 Некоторые данные не конвертируются в сущности STEP	P4.1 Некорректные результаты конвертирования ПриС
P1.2 ЭМИ Перс с «лишними» элементами — «шумом»		P3.2 Некорректные результаты конвертирования Перс	P4.2 Некоторые сущности STEP не конвертируются в формат ПриС
P1.3 ЭМИ Перс с неявными ошибками, приводящими к некорректному выполнению последующих шагов		P3.3 Представление отдельных элементов, создающее предпосылки к появлению ошибок на последующих шагах преобразований	

$$P_{\text{НКДЭМИ}} = P_{P1.i} \cdot P_{P2.j} \cdot P_{P3.k} \cdot P_{P4.l}, \quad (1)$$

где $i = j = k = 0, 1, 2, 3; \quad n = 0, 1, 2.$

Конечные результаты преобразования информации при формировании ЭМИ (см. рис. 2) являются следствием совокупности событий, приводящих на каждом шаге такого преобразования к тем или иным результатам P_{ij} (см. табл. 2). На рис. 4 представлено дерево таких результатов P , построенное в виде графа в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 51901.5-2005 на основе анализа деревьев событий на шагах 1–4 преобразования информации.

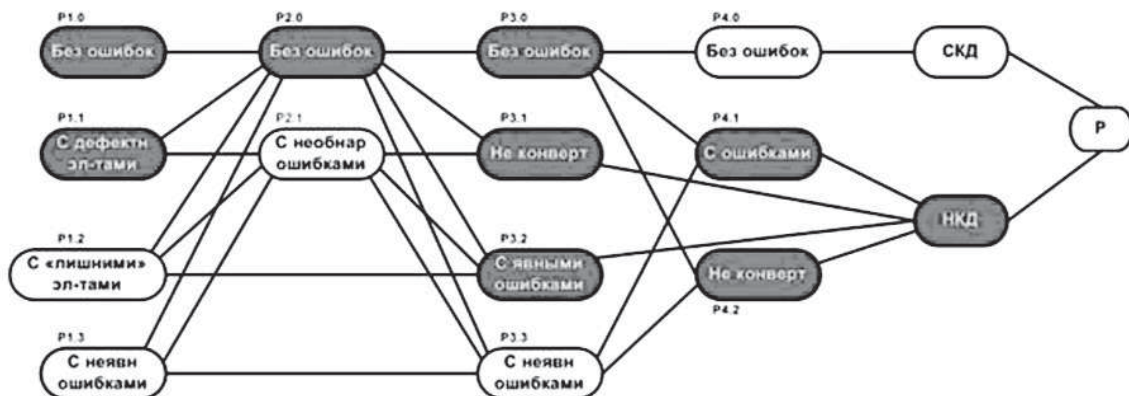


Рис. 4. Дерево результатов преобразования информации

Здесь графически показана связь между результатами (конечными событиями) P_{ij} каждого шага рассматриваемого преобразования. Корень (корневая вершина) дерева — P — вся совокупность результатов, включающая получение соответствия качества данных (вершина СКД), где сформирована модель изделия без ошибок, и несоответствия качества данных (вершина НКД), где модель сформирована с теми или иными ошибками. При этом на рис. 4 видно, как — сочетанием каких событий — формируются эти ошибки на каждом шаге преобразования информации.

Проведенное экспертное оценивание вероятностей начальных событий табл. 2 позволило по формуле (1) определить вероятности получения НКД ЭМИ в каждом из вариантов получения НКД, показанных на рис. 4 и установить, что

- несовершенством конвертора ПриС, ошибками персонала ИО, вследствие чего совокупности сущностей STEP не конвертируются в формат ПриС (событие $P_{4.2}$) или конвертируются с ошибками (событие $P_{4.1}$).

По результатам анализа появления НКД ЭМИ при формировании ЭМИ построена (см. рис. 5) причинно-следственная диаграмма (диаграмма К. Ишикавы), графически отображающая влияние различных источников причин и самих причин на конечный результат формирования актуальной ЭМИ. На этой основе по каждому шагу формирования актуального ЭМИ (в соответствии с рис. 2) определены причины возникающих ошибок, способы устранения дефектов, разработаны корректирующие и предупреждающие действия.



Рис. 5. Причинно-следственная диаграмма формирования ЭМИ

основная доля НКД ЭМИ получают путем реализации 8-ми цепочек событий (при общем их числе в дереве событий 41). Соответствующая им часть дерева результатов преобразования информации выделена на рис. 4 затенением.

Таким образом, результаты формирования ЭМИ с НКД определяются прежде всего:

- ошибками при построении ЭМИ (событие $P_{1.1}$), связанными с человеческим фактором (конструкторы изделия, контролёры ЭМИ) и особенностями организации процесса проектирования ЭМИ,
- несовершенством конвертора ПерС, ошибками персонала ИО, вследствие чего некоторые виды геометрических объектов и других данных не конвертируются в сущности STEP (событие $P_{3.1}$) или конвертируются с ошибками (событие $P_{3.2}$),

2. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Критерии качества геометрических данных ЭМИ устанавливаются нормативными документами, разрабатываемыми на основе рекомендаций VDA 4955 [5] и международного стандарта ISO/PAS 26183 [2] с учетом собственного опыта предприятий, включая характеристики применяемых программно-технических средств, опыт и квалификацию персонала ИО, осуществляющих контроле качества.

Качество геометрических данных электронных моделей деталей

Несоответствие качества геометрических данных электронной модели детали (ЭМД) определяется:

- дефектами положения элементов модели (некорректный стык элементов, использование совпадающих элементов)
- погрешностями задания размеров элементов модели (задание размеров менее допустимого)
- некорректным пересечением и проецированием элементов модели (самопересечение, совпадение противоположных границ элемента)
- структурными погрешностями представления элементов модели (избыточная или недостаточная входимость, мультиэлементы, неиспользуемые лоскуты поверхности, пустоты)
- погрешностями представления элементов модели при задании и в результате трансляции в другие форматы представления, отличные исходных, например, при архивном хранении модели в нейтральных форматах для обеспечения возможности её использования при изменении (за время хранения) программных средств и технологий, применяемых при создании и использовании моделей (направления нормалей (волнообразность, складчатость, острый или касательный угол в угловой точке или между элементами, дефекты преобразования при аналитическом задании элемента, задание элементов с избыточной сложностью, слишком высокая степень полинома при задании кривой или поверхности, большое количество составляющих элементов (фрагментов), несогласованность топологии и геометрии элемента).

В международном стандарте ISO/PAS 26183 определены 64 несоответствия качества геометрических данных электронных моделей деталей, соответствующие им критерии качества и рекомендации по устранению и выполнению их. Пока только часть этих несоответствий идентифицируются средствами контроля качества электронных моделей, интегрированных в CAD системы или в виде самостоятельных программных продуктов. На рис. 6 приведено сопоставление количеств несоответствий, идентифицированных в рекомендациях VDA 4955 и международном стандарте ISO/PAS 26183.



Рис. 6. Сравнение количеств несоответствий качества данных ЭМИ по ISO/PAS 26183:2006 и VDA 4955

В табл. 3 представлены примеры несоответствия качества геометрических данных ЭМД. Код несоответствия качества геометрических данных ЭМД, используемый в табл. 3, соответствует международному стандарту ISO/PAS 26183 и содержит 2 идентификатора:

- идентификатор представления;
- идентификатор параметра.

Идентификатор представления характеризует вид представления данных. Для несоответствий качества геометрических данных ЭМД он принимает одно из 7-ми значений. В том числе для примеров табл. 3 использованы: CU – Кривая (CUrve), FA – Грань (FAce), SH – Оболочка (SHell), SO – Твёрдотельное представление (SOlid representation), SU – Поверхностное представление (SUrface representation).

Идентификатор параметра характеризует причину возникновения несоответствия качества геометрических данных ЭМД. Для каждого из таких несоответствий он принимает одно из 29 значений. В том числе для примеров табл. 3 использованы: EG – Зазор между ребрами (Edge Gap), EM – Встроенные элементы (Embedded elements), FR – Свободный элемент (Free element), LG – Большой зазор (разрыв)/перекрывание между элементами – нарушение непрерывности по G_0 – G_0 непрерывность (Large Gap between elements (G0 discontinuity)), NM – Неманифолд (Non-Manifold), NT – Некасательный угол между элементами – нарушение непрерывности по первой производной – G_1 непрерывность (Non-Tangent angle between elements – (G1 discontinuity)), RN – Относительно узкий элемент (Relatively Narrow), UN – Неиспользуемые элементы (UNused elements), TI – Крошечные элементы (TIny elements).

В соответствии с этим несоответствия качества данных ЭМД, приведенные в табл. 1, идентифицируются по ISO/PAS 26183 как показано в табл. 4.

Таблица 4

Пример	Несоответствие качества данных ЭМД	
	Код	Внешнее проявление
UC01	ED-CL	Конечные точки ребра совпадают
CU04	FA-IS	Пара контуров в одной и той же грани пересекают друг друга

Таблица 3

Элемент	Код	Внешнее проявление несоответствия качества	Критерий качества геометрических данных
<i>Дефекты положения элементов</i>			
Дефекты стыка элементов: Зазор / перекрытие (Нарушение непрерывности G_0)			
Кривая	CU-LG	Большое расстояние между смежными сегментами кривой или перекрытие смежных сегментов – нарушение непрерывности G_0	 Расстояние между конечными точками сегментов на общей границе должно быть в пределах допуска НТД
Дефекты стыка элементов: Погрешность касания (Нарушение непрерывности G_1)			
Поверхность	SU-NT	Некасательный угол между смежными лоскутами поверхности – нарушение непрерывности по G_1	 Наибольший угол между нормальными к лоскутам, измеренный в смежных точках вдоль общих границ должен быть в пределах допуска НТД
Дефекты стыка элементов: Зазор между ребром и гранью			
Грань	FA-EG	Расстояние между ребром и поверхностью, которую ребро обрезает, больше заданной НТД точности	 Наибольшее расстояние между каждой точкой ребра и соответствующей точкой на поверхности меньше заданной НТД точности
СОВПАДАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ			
Кривая	CU-EM	Набор кривых (в том числе разных типов), включающий одну кривую, полностью перекрывающую другую(ие)	 Кривая 1 Кривая 2 Существование кривой, полностью совпадающей с другой кривой в пределах точности, заданной НТД
<i>Структурные погрешности</i>			
Входимость недостаточная			
Оболочка	SH-FR	Ребро используется в оболочке только одной гранью	 Каждое ребро должно использоваться двумя гранями оболочки
Входимость избыточная			
Твердое тело	SO-NM	Ребро используется более чем в двух гранях («не-манифолдное твердое тело»)	 Ребро должно использоваться не более чем двумя гранями
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЛОСКУТЫ ПОВЕРХНОСТИ			
Поверхность	SU-UN	Поверхность имеет лоскуты, которые не используются, частично или целиком, никакими гранями	 Лоскут 2 Грань Лоскут 1 В модели не должно быть неиспользуемых лоскутов
<i>Погрешности задания размеров элементов</i>			
Крошечные элементы (малый размер элемента во всех направлениях)			
Кривая	CU-TI	Общая протяженность кривой / сегмента слишком мала	 Крошечный сегмент Длина кривой / сегмента должна быть не менее допустимой по НТД
Малый размер части элемента			
Грань	FA-RN	Участок грани, слишком узкий по сравнению с заданной величиной	 Ширина участка грани или длина узкой области должны быть больше допустимой НТД величины

**Качество геометрических данных электронных моделей сборочных единиц и электронного макета**

Несоответствие качества геометрических данных электронной модели сборочной единицы (ЭМСЕ) определяется:

- нарушением целостности ЭМСЕ;
- изменением конструкции сборочной единицы (вопреки замыслу);
- ошибками создания модели.

Они возникают как результат ошибок позиционирования компонентов ЭМСЕ или формиро-

вания модели при конструировании или трансляции, например, при архивном хранении модели в нейтральных форматах для обеспечения возможности её использования при изменении (за время хранения) программных средств и технологий, применяемых при создании и использовании моделей. На основе обобщения опыта ОКБ «Сухого» и ОАО НИЦ АСК, зарубежного опыта обеспечения качества данных ЭМСЕ предложены 8 требований к этим данным, которые приведены в табл. 5. Каждому из несоответствий качества

Таблица 5

Объект	Код	Внешнее проявление несоответствия качества	Критерий качества геометрических данных
<i>Нарушение целостности модели</i>			
Нарушение позиционирования после трансляции			
Деталь	Д-ПМ	Возникают ошибки позиционирования деталей, входящих в ЭМСЕ.	Электронные модели деталей – компонентов ЭМСЕ не должны быть параметризованы
Сборочная единица	СЕ-ПД		Положение деталей сборочной единицы должно соответствовать замыслу конструкции
<i>Изменение конструкции</i>			
Нарушение позиционирования при конструировании			
Сборочная единица	СЕ-ВС	Проведенное изменение позиционирования деталей в ЭМСЕ не отображается (остается прежним).	ЭМСЕ и соответствующий объект PSE должны быть созданы практически в одно время (та же дата и близкое время создания)
Сборочная единица	СЕ-СС	Неправильная (противоречащая замыслу) форма сборочной единицы.	Каждая деталь сборочной единицы должна быть лишена 6 степеней свободы (перенос по осям X, Y и Z и вращение вокруг каждой из осей)
Нарушение позиционирования после трансляции			
Деталь	Д-АП	Покупные комплектующие и стандартные изделия в альтернативных представлениях не отображаются в ЭМСЕ.	ЭМСЕ не должна содержать альтернативные представления моделей покупных комплектующих и стандартных изделий, построенные в другой (относительно ПриС) системе
Сборочная единица	СЕ-НП	ЭМСЕ не соответствует утвержденной.	ЭМСЕ должна соответствовать утвержденной
<i>Ошибки создания модели</i>			
Нарушение формирования при конструировании			
Сборочная единица	СЕ-ЦС	ЭМСЕ не создается.	Граф сборки должен быть ациклическим, т.е. сборочная единица не может прямо или косвенно входить в саму себя
Нарушение формирования после трансляции			
Сборочная единица	СЕ-ПП	ЭМСЕ не создается.	При формировании ЭМСЕ использовать при позиционировании деталей перемещение их как твердого тела (отражение и масштабирование не допускаются)

геометрических данных ЭМСЕ по аналогии с международным стандартом ISO/PAS 26183 (см. выше) присвоен двухпозиционный код, содержащий:

- идентификатор представления, характеризующий вид представления данных и принимающий одно из 2-х значения: Д — деталь или СЕ — сборочная единица,
- идентификатор параметра, характеризующий причину возникновения несоответствия качества данных и принимающий одно из 8-ми значений: ПМ — Параметрическая модель, ПД — Positionирование деталей, ВС — Время создания, СС — Степени свободы, АП — Альтернативные представления, НП — Нарушение порядка, ЦС — Циклические связи, ПП — Перемещения при позиционировании.

Например, в системах CATIA и NX используются способы позиционирования деталей в ЭМСЕ, несовместимые с представлением этого позиционирования в системе TeamCenter, что в ряде случаев приводит к нарушению целостности модели после её трансляции (модель «разлетается»). Пример такого рода нарушения целостности ЭМСЕ приведен на рис. 7: возникают ошибки позиционирования деталей, входящих в модель (код этого несоответствия качества СЕ-ПД).

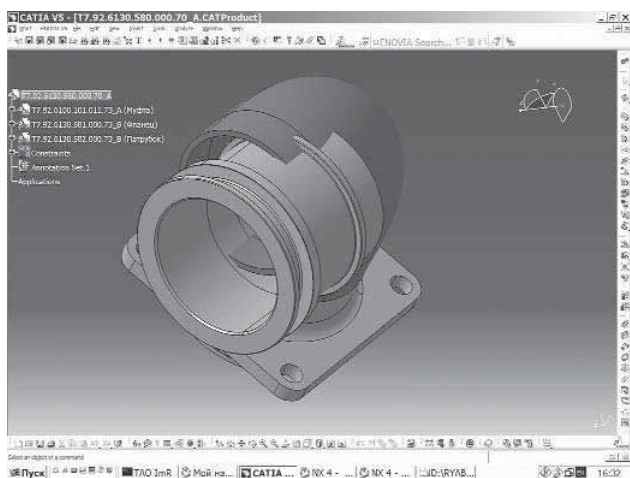


Рис. 7. Нарушение целостности ЭМСЕ

По ГОСТ 2.052-2006 (статья 3.1.15) электронный макет изделия — это ЭМИ, описывающая его внешнюю форму и размеры, позволяющая полностью или частично оценить его взаимодействие с элементами производственного и/или эксплуатационного окружения, служащая для принятия решений при разработке изделия и процессов его изготовления и использования. Поэтому требования к качеству геометрических данных электронного макета (а также покупного комплектующего / стандарт-

ного изделия, содержащего составные части) аналогичны требованиям к качеству данных ЭМСЕ.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Совершенствование формирования актуальной ЭМИ существенно ограничено возможностями используемых программных средств их создания и конвертирования. Отечественный пользователь практически лишен каких-либо возможностей влиять на изменение этих программных средств, поставляемых ведущими западными производителями. Поэтому пользователь в этих условиях может:

- постоянно совершенствовать степень корректности использования возможностей применяемых программных средств периодическим корректированием требований своей НТД, повышением квалификации персонала (инженерного и информационного обмена);
- выявить путем проведения исследований, анализа опыта формирования актуальной ЭМИ или методом проб и ошибок сочетание методов построения ЭМИ, настроек конверторов, приводящие к наиболее тяжелым последствиям при трансляции на всех стадиях преобразования информации при формировании актуальной ЭМИ и дать соответствующие рекомендации (ограничения) по их использованию в НТД предприятия;
- проводить тотальный контроль качества данных на всех стадиях формирования актуальной ЭМИ с последующим его анализом для соответствующей корректировки НТД;
- работать в контакте с разработчиками программного создания и конвертирования ЭМИ, прежде всего, через участие в международных ассоциациях пользователей; консолидировать отечественных пользователей программного обеспечения в их взаимоотношениях с разработчиками программного обеспечения для усиления возможностей влияния на последних с целью учета своих интересов;
- путем аутсорсинга или своими силами разработать конверторы (с учетом опыта эксплуатации программного обеспечения на предприятии);
- заключать соглашения об обмене данными с бизнес-партнерами, участвующими в разработке, производстве и эксплуатации изделия, что позволит не терять контроль за качеством поставляемых ими данными, используемыми в ЭМИ.

При этом принципиально важно, чтобы такая работа проводилась постоянно с учетом требований долговременного хранения и восстановления данных ЭМИ в условиях неоднократной смены используемых аппаратных и программных средств, поколений персонала. Пути совершенствования формирования актуальной ЭМИ – корректирующие и предупреждающие действия при этой деятельности определяются на основе анализа причин появления ошибок трансляции и воспроизведения ЭМИ (см. рис. 5). Анализируя совокупности таких путей, необходимо отобрать подлежащие внедрению.

Любая работа, выполняемая человеком, в том числе с использованием автоматизированных систем, выполняется по циклу: планирование – выполнение – контроль – коррекция выполнения (по циклу Деминга [6]). В идеальном случае:

- *планирование* должно учитывать требования к результату работы, а также возможности исполнителя и используемых им средств;
- *выполнение* должно быть корректным, правильным, в соответствии с требованиями НТД, т.е. исполнитель и используемые им средства не должны делать ошибок при корректных действиях;
- *контроль* должен выявлять все отклонения от несоответствий результата требованиям;
- *коррекция выполнения* должна полностью обеспечить исправление результата и изменение действий при повторном выполнении для исключения подобных несоответствий (разработка корректирующих действий) и желательно – предупреждающих действий, устраняющих причины других (прежде всего аналогичных) потенциальных несоответствий.

Анализ реализации цикла Деминга используется для поиска путей совершенствования рассматриваемой деятельности. Общий алгоритм проведения такого анализа при выполнении любой работы представлен на рис. 9. Он осуществляется каждым специалистом (как исполнителем, так и руководителем) в пределах его должностных обязанностей, квалификации (в пределах компетенции) и отношения к делу.

Предложенный подход обеспечивает корректность и эффективность проведения работ по формированию актуальной ЭМИ, а также системность постоянной модернизации всей НТД, используемой при этом, в том числе в условиях длительного хранения и восстановления данных ЭМИ.

Особенность человеко-машинной системы, реализующей преобразование информации от замысла конструктора до восстановления ЭМИ ПриС (см. рис. 2), заключается в том, что ошибки может совершать не только человек (пользователь авто-

матизированных средств создания и конвертирования ЭМИ), но и используемое им средство (причем и при корректных действиях пользователя). В силу сложности используемых средств и недоступности для пользователей их алгоритмов функционирования ошибки таких средств (CAD/CAM систем, конверторов ПерС и ПриС) можно определить только на основе периодического анализа результатов ИО и трансформирования их в требования НТД для пользователей автоматизированных средств.

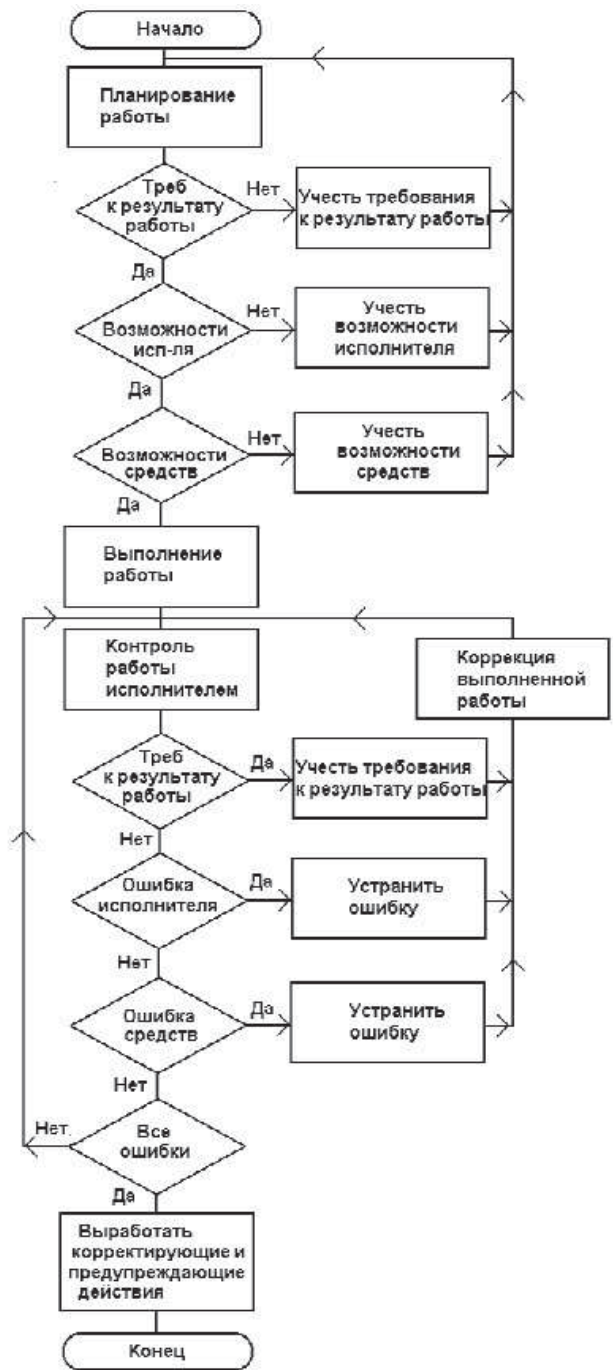


Рис. 9. Алгоритм проведения анализа реализации цикла Деминга при выполнении любой работы

Одна из основных функций при обеспечении качества данных — контроль качества данных — аттестационное тестирование данных, прежде всего, геометрических, посредством инспектирования электронного описания изделия (в частности, его геометрической модели) при каждом обмене данными с оценкой и диагностированием ошибок по правилам, установленным процедурой контроля. Рассмотрим возможности выявления различного рода ошибок на каждом шаге преобразования информации (в соответствии с рис. 2). Как видно из алгоритма рис. 9, это можно сделать, контролируя действия исполнителя каждого шага преобразования информации при планировании работы и при контроле ее результатов, прежде всего самим исполнителем, а затем и на каждом последующем шаге. В результате общая последовательность формирования актуальной ЭМИ в ОБДИ должна иметь вид, представленный на рис. 10.

На шаге 1 преобразования информации (см. рис. 2) конструктор в ходе построения ЭМИ ПерС и по его окончании осуществляет контроль результатов этой работы с учетом, как показано на рис. 9, функциональных требований к проектируемому объекту, собственных ошибочных действий и ошибок используемой САД системы (ПерС). При этом, действуя в пределах своей компетенции, конструктор, передавая результаты своей работы — ЭМИ ПерС контролеру, должен проверить упомянутую модель

- *на соответствие* требованиям НТД к содержательной части ЭМИ (в части особенностей выполнения ЭМИ и её отдельных элементов, допусков, используемых при моделировании, внесения информации о применяемых материалах, о технических требованиях, о массово-инерционных и массово-центровочных характеристиках детали); при обладании соответствующей квалификацией и наличии времени конструктор может проверить созданную модель с использованием специализированных средств контроля, прежде всего встроенных в используемое им автоматизированное средство, на соответствие требованиям точности и целостности;

- *на соответствие* используемых способов построения элементов модели рекомендациям НТД, разрабатываемой и корректируемой на основе анализа опыта контроля и коррекции ЭМИ при реализации ИО;

- *на соответствие* замыслу конструктора и требованиям технического задания прямых характеристик модели:

- структуры модели (составляющих элементов и их связей);
- геометрической формы модели и ее элементов;
- размеров модели и ее элементов;

- на наличие необразмеренных геометрических элементов, которые могут оказаться «лишними» элементами (одинокими, несвязанными с собственно ЭМИ), образовавшимися в результате некорректной работы САД системы (например, при обрезке после построения); для устранения по крайней мере части таких элементов в ЭМИ целесообразно выполнить процедуру их удаления.



Рис. 10. Общая последовательность формирования актуальной ЭМИ

Общая последовательность контроля качества ЭМИ конструктором представлена на рис. 11.

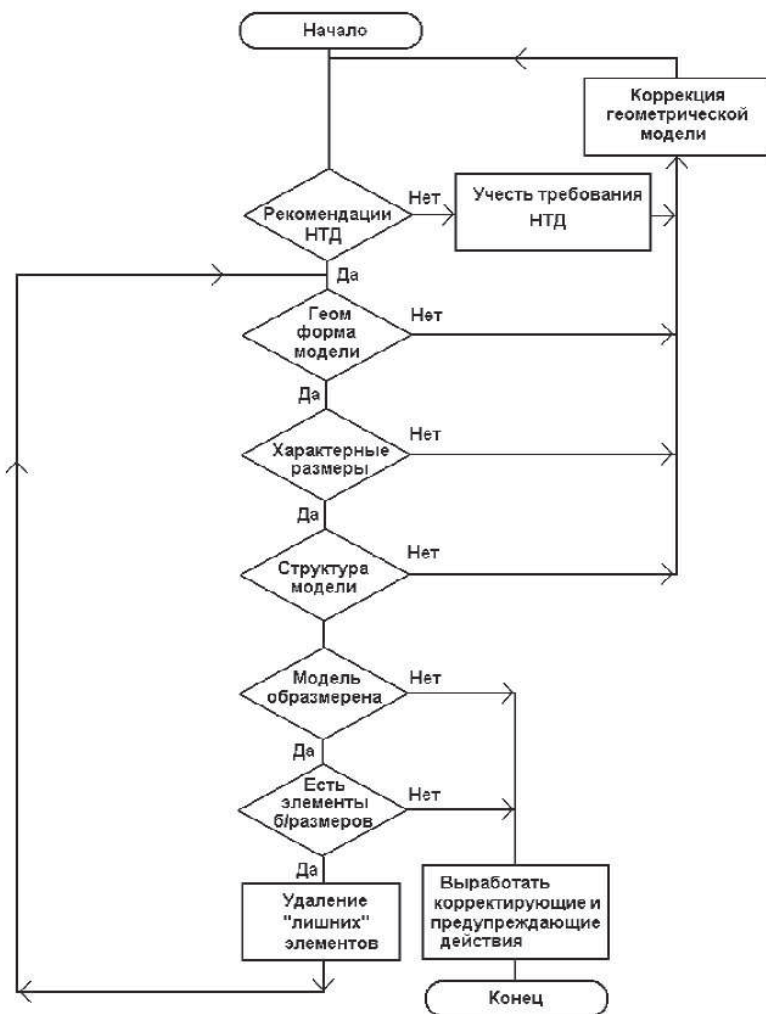


Рис. 11. Контроль конструктором качества модели

Отметим, что в ней:

- не отражено проведение традиционного контроля закладываемых конструктором технических решений (функциональности), контроля технологичности этих решений и нормоконтроля разработанной документации,
- минимизировано использование специализированных средств контроля качества ЭМИ, чтобы не отвлекать конструктора от его основной работы — функционального конструирования, обеспечения требований технического задания на изделие.

После проверки качества ЭМИ конструктор передает его контролеру, который в полной мере (это его компетенция) должен использовать все возможности специализированных средств контроля качества ЭМИ для предотвращения поступления в ОБДИ и далее в подразделение ИО некачественной модели, требующей больших затрат ресурсов на ее трансляцию и восстановление в ПриС.

На шаге 2 преобразования информации (см. рис. 2) контролер, действуя в пределах своей

компетенции, должен проверить ЭМИ ПерС

- на наличие соответствующего статуса ЭМИ ПерС (подписи конструктора(ов), создавшего(их) и проверившего(их) модель, наличия утверждения, даты выпуска модели)
- на соответствие требованиям НТД в части допусков, использованных при моделировании, требованиям точности и целостности при использовании настроек средств контроля и установлении требований точности проверок в соответствии с международным опытом по рекомендациям VDA 4955 и ISO/PAS 26183:2006.

При обнаружении ошибок модели (несоответствий ее качества) контролер передает ее для лечения в специализированное подразделение или возвращает конструктору для исправления. В любом случае оформляется соответствующий Протокол несоответствия качества ЭМИ, где фиксируются признаки, по которым данная модель не соответствует требованиям качества и приводится обоснование направления его на лечение или возврата конструктору. В качестве обоснования могут быть использованы по опыту фирмы SNECMA балльные экспертные оценки результатов контроля качества модели контролером. В этом случае критерии оценивания должны быть утверждены соответствующей НТД предприятия. Общая последовательность контроля качества ЭМИ контролером представлена на рис. 12.

В подразделении ИО осуществляются последние 2 шага преобразований информации по рис. 2: проводится последовательная трансляция поступившей модели: коррЭМИ ПерС → ЭМИ STEP → ЭМИ ПриС с соответствующей проверкой качества, получаемого на каждом шаге преобразования. Общая последовательность действий при ИО определяется алгоритмом реализации процедуры обмена данными об изделии в соответствии с НТД.

На шаге 3 преобразования информации (см. рис. 2) персонал ИО, действуя в пределах своей компетенции, осуществляет контроль качества ЭМИ STEP в последовательности, приведенной на рис. 13. В начале проводится проверка наличия соответствующего статуса коррЭМИ ПерС (подписи конструктора(ов), создавшего и проверившего модель, контролера, проверившего модель,

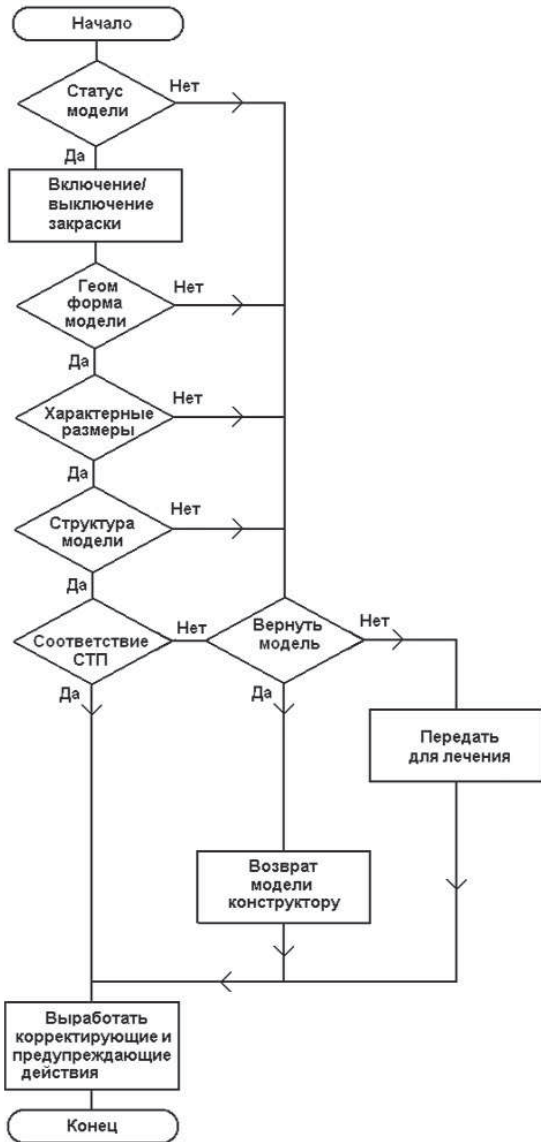


Рис. 12. Контроль качества модели контролером

наличия утверждения, даты выпуска модели и т.п.). После конвертирования модели осуществляется проверка массово-инерционных и массово-центровочных характеристик (МИХ и МЦХ) и далее проводится коррекция ЭМИ ПерС с использованием средств и методик, рекомендуемых НТД. В случае некорректного статуса ЭМИ ПерС или невозможности конвертирования последней в ЭМИ STEP такая модель возвращается конструктору с оформлением соответствующего Акта несоответствия качества модели, где фиксируются признаки, по которым данная модель не соответствует требованиям качества и приводится обоснование возврата ее конструктору.

Аналогичный порядок действий осуществляется после конвертирования ЭМИ STEP в ЭМИ

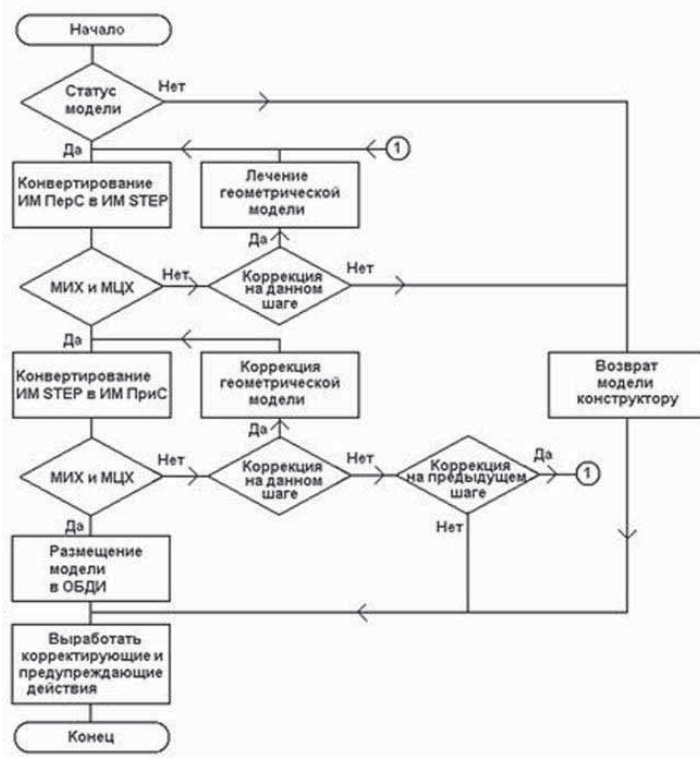


Рис. 13. Контроль качества ЭМИ STEP персоналом ИО

ПриС: сначала проверка МИХ и МЦХ и далее коррекция ЭМИ STEP с использованием средств и методик, рекомендуемых НТД. В случае невозможности конвертирования ЭМИ STEP принимается решение о переходе снова к работе с коррЭМИ ПерС или отказе от дальнейшей работы с данной моделью и завершении процедуры контроля ее качества. При этом составляется Акт несоответствия качества модели, где фиксируются признаки, по которым данная модель не соответствует требованиям качества, приводится обоснование прекращения процедуры ИО и даются рекомендации по дальнейшей работе с данной моделью.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный принцип, который должен быть положен в основу деятельности по контролю качества геометрических данных ЭМИ, состоит в том, что это не одноразовая работа, а постоянная функция технологического мониторинга, выполняемая службами предприятия на всем периоде жизненного цикла изделия с учетом особенностей контингента персонала и эксплуатируемого набора автоматизированных средств, реализующих формирование актуальной ЭМИ, включая всех участников проектной и производственной кооперации, участвующих в создании изделия.



Литература

1. *Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение* / Гл. ред. А.Г. Братухин. — М.: ОАО «НИИ АСК», 2008. — 608 с.: ил.
2. *ISO/PAS 26183: 2006 SASIG Product data quality guidelines for the global automotive industry* (Руководство по качеству данных об изделиях Стратегической промышленной группы (SASIG) для глобальной автомобильной индустрии).
3. *Злыгарев В.А., Юрин В.Н.* Анализ процессов формирования актуальной электронной модели изделия / Применение ИПИ-технологий в производстве. V Всерос. научн.-практ. конф. Труды конф. — М.: МАТИ, 2007. — С. 103–105.
4. *ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003)* Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
5. *VDA4955-V2 Scope and Quality of CAD/CAM Data. Check Program. VDA-Recommendation* (Программа контроля качества данных CAD/CAM-систем). — Frankfurt/M.: VDA, 1999.
6. *Андерсен Б.* Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2005.