

На правах рукописи

Филинских Александр Дмитриевич

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МЕТРИКА ПЕРЕДАЧИ И  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДАХ.**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2013 г.

Работа выполнена на кафедре «Графические информационные системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева» (НГТУ).

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент  
Райкин Леонид Исаакович

Официальные оппоненты

Моругин Станислав Львович  
доктор технических наук, доцент,  
Нижегородский государственный  
технический университет им Р.Е. Алексеева,  
заведующий кафедрой «Компьютерные  
технологии в проектировании и  
производстве»;  
Подольский Владимир Ефимович  
доктор технических наук, профессор,  
Тамбовский государственный  
технический университет, директор  
Тамбовского областного центра новых  
информационных технологий ТГТУ.

Ведущая организация

Открытое акционерное общество  
Нижегородская инжиниринговая компания  
«АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ», г. Нижний  
Новгород

Защита диссертации состоится «26» декабря 2013 года в 11 часов в ауд. 1258 на заседании диссертационного совета Д 212.165.05 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

Автореферат разослан «26» ноября 2013 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Суркова Анна Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Профессиональные программные среды (ППС) для создания и работы с геометрическими моделями (ГМ) были и остаются предметом конкуренции разных производителей, которые предлагают свои технологии на мировом рынке разработок изделий, объектов архитектуры и строительства, инфраструктуры и т.п. Несомненно, эта конкуренция ведет к постоянному повышению точности объектов проектирования, удобства работы с ними и других факторов, положительно влияющих на производительность производственных процессов.

С другой стороны, руководители многих предприятий, пытаясь сэкономить, закупают дешевое программное обеспечение для автоматизации узкого круга задач, не рассматривая даже всю цепочку этапов проектирования. При таком подходе на предприятиях возникает несогласованность в программном обеспечении. Особенно остро стоит вопрос обмена информацией между созданными в разных технологиях геометрическими моделями, т.е. передача геометрической, топологической и др. информации. Такие проблемы возникают между заказчиком и подрядчиком, при передаче информации по этапам жизненного цикла (ЖЦ) изделия, а также при переходе предприятия на новые технологии (новые профессиональные программные среды), где остро встает вопрос о передаче и восстановлении необходимой информации. Одним из таких вопросов является количественная оценка информации в ходе этого процесса, которая позволит не только прогнозировать затраты предприятий на передачу и восстановление ГМ, но и сравнить различные пути по их сокращению.

Сейчас для передачи ГМ имеется в наличии большое число «нейтральных 3D форматов», к которым можно отнести такие, как: STEP, 3D XML, JT, 3D PDF, IGES и др. Однако, их использование сильно ограничивает возможность редактирования импортированных данных из-за потери информации об истории и контексте построения геометрии, ассоциативной связи между моделью и чертежом, наложенных проектировщиком ограничений и т.п.

Ответственным и трудоемким является процесс передачи и восстановления ГМ. Неправильно оцененные показатели передачи и восстановления могут негативным образом сказаться на технико-экономических показателях предприятия.

Несмотря на это, ряд вопросов, связанных с количественной оценкой передачи и восстановления геометрических моделей в профессиональных программных средах, остается нерешенным. В частности, в системе оценок отсутствуют показатели на основе количественных и функциональных характеристик ГМ. В проведенных ранее исследованиях рассматривался лишь вопрос о том, откроется ли модель после передачи её из одного программного продукта в другой или нет, количественной оценки передачи данных не приводилось. При приведении оценки авторы опираются лишь на отношение количества искажённых файлов к исходному числу файлов, либо оценивают качество преобразований субъективно.

Некоторые авторы приводят возможные причины возникновения несоответствий в формировании форматов различных систем. В других источниках лишь описывается данная проблема, но количественных оценок не приводится.

Эти обстоятельства определяют актуальность исследований проблем оценки передачи и восстановления геометрических моделей в профессиональных программных средах путем использования информационных метрик.

**Целью** диссертационной работы является создание информационной метрики передачи и восстановления геометрических моделей в профессиональных программных средах, позволяющей оценивать и сравнивать качество передачи и прогнозировать затраты на восстановление геометрических моделей.

#### **Задачи исследования:**

- классификация параметров ГМ в ППС для применения к ним информационной метрики;
- определение характеристик и критериев передачи и восстановления параметров ГМ для использования метрики;
- введение платформенно-независимой информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС;
- разработка методики расчета платформенно-независимой информационной метрики на основании размерно-ориентированных и функционально-ориентированных оценок;
- оценка и сравнение технико-экономических показателей передачи и восстановления ГМ между различными программными средами;
- проведение расчетов и проверки полученных результатов на практике.

#### **Объект исследования**

Процесс передачи и восстановления геометрических моделей в профессиональных программных средах.

#### **Предмет исследования**

Методы оценки передачи и восстановления ГМ.

#### **Методы исследования**

В ходе диссертационного исследования были использованы:

- методы теории графов;
- методы теории рационального выбора;
- методы объектно-ориентированного проектирования;
- математико-статистический метод экспертных оценок;
- методы статистического и графического анализа.

#### **Научная новизна**

1. Произведена классификация параметров ГМ, представленная в виде иерархического пространства и предназначенная для введения платформенно-независимой информационной метрики. В отличие от существующих классификаций данная классификация учитывает параметры атрибутивной информации, свойства передающего файла и позволяет дать количественную характеристику параметрам ГМ.
2. Введена платформенно-независимая информационная метрика, которая в отличие от известных определяет характеристики и критерии ГМ. Она используется в оценке передачи и восстановления ГМ и позволяет рассчитать технико-экономические показатели процесса передачи и восстановления ГМ. Введенные метрики не зависят от конкретных программных сред работы с ГМ.
3. Разработана методика функционально-ориентированной оценки передачи и восстановления ГМ. Данная методика предназначена для определения значений введенной платформенно-независимой информационной метрики и позволяет оценить каждый параметр ГМ в отдельности. Методика отличается от известных возможностью выбора параметров ГМ.

## **Практическая значимость**

Практическая значимость диссертационной работы состоит в:

- автоматизированном расчете информационной метрики передачи и восстановления ГМ;
- расчете временных затрат на полное восстановление данных вручную при переходе на другие программные среды;
- прогнозировании на ранних стадиях принятия решений затрат на восстановление необходимых данных ГМ на основании информационной метрики;
- выборе способа передачи геометрической модели из одной программной среды в другую, позволяющего снизить затраты на восстановление данных;
- возможности применения интервальных шкал для сравнения потерь данных при передаче и коэффициентов затрат на восстановление ГМ.
- использовании предложенной информационной метрики в любых профессиональных программных средах работы с ГМ;
- использовании результатов исследования в научно-исследовательской деятельности и в учебном процессе.

## **Реализация и внедрение результатов работы**

Результаты диссертационного исследования нашли практическое применение в профессиональной деятельности предприятий: ОАО «Гипрогазцентр», ОАО ПКО "Теплообменник", ООО «Электропроект Поволжье», в научно-исследовательской работе Нижегородского областного центра новых информационных технологий НГТУ им. Р.Е. Алексеева, в практической деятельности образовательно-научного центра Autodesk НГТУ им. Р.Е. Алексеева, в научно-исследовательской деятельности лаборатории ИПИ-технологий ИРИТ НГТУ им. Р.Е. Алексеева, в учебном процессе кафедры «Графические информационные системы» Института радиоэлектроники и информационных технологий НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

## **Апробации работы**

Основные результаты диссертационной работы были доложены, продемонстрированы и обсуждены:

- на Всероссийской научно-методической конференции Телематика '2011 (Санкт-Петербург, 2011г.);
- на 18-й, 19-й, 20-й, 21-й и 23-й Международной научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам «КОГРАФ 2008» (Н.Новгород 2008 г.), «КОГРАФ 2009» (Н.Новгород 2009 г.), «КОГРАФ 2010» (Н.Новгород 2010 г.), «КОГРАФ 2011» (Н.Новгород 2011 г.), «КОГРАФ 2013» (Н.Новгород 2013 г.);
- на V-й, VII-й, VIII-й, X-й и XII-й международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки» (Н.Новгород 2006, 2008, 2009, 2011, 2013 гг.);
- на Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2008» (Н.Новгород 2008 г.), «ИСТ-2009» (Н.Новгород 2009 г.);
- на X-й, XIV-й и XVI-й Нижегородской сессии молодых ученых. Технические науки (Н.Новгород 2005, 2009, 2011 гг.);

- на конференции Технологии Microsoft в теории и практике программирования (Н.Новгород 2009, 2010 гг.);
- на Шестой Межрегиональной научно-практической конференции «Новые информационные технологии - инструмент повышения эффективности управления» (Н.Новгород, 2007 г.);
- на научно-методических семинарах кафедры «Графические информационные системы» института радиоэлектроники и информационных технологий НГТУ им. Р.Е. Алексеева (Н.Новгород 2009-2013 гг.).

**На защиту выносятся** следующие научные положения, разработанные автором:

1. Классификация параметров ГМ, представленная в виде иерархического пространства.
2. Платформенно-независимая информационная метрика, которая в отличие от известных определяет характеристики и критерии ГМ.
3. Методика расчета платформенно-независимой информационной метрики объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ.
4. Методика расчета размерно-ориентированной и функционально-ориентированной оценки параметров ГМ для определения платформенно-независимой информационной метрики объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ

### **Публикации**

По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, опубликовано 18 научных работ, в том числе две в изданиях, рекомендованных ВАК, три статьи в других журналах, одно свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ, 12 публикаций в сборниках трудов и материалов научно-технических конференций, в том числе Всероссийских и Международных.

### **Структура и объем работы**

Работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка литературы из 140 наименований, общим объемом 147 страниц и двух приложений. В работе содержится 28 рисунков, 5 графиков и 18 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель, задачи, предмет, объект, методы исследования, показана практическая значимость исследования, изложены основные научные результаты.

**В первой главе** содержится обзор литературных и информационных источников, связанных с исследованиями применения информационных метрик для оценки проектов, а также в области передачи и восстановления геометрических моделей в ППС.

Использование комплексных и достаточно сложных методик для оценки проектов в области программного обеспечения (ПО) связано с тем, что экономические показатели нелинейно зависят от объема работ, а для их вычисления требуется достаточно большое время на адаптацию внутри конкретного предприятия (настройка различных коэффициентов). Применение данных методик базируется на определении различных количественных показателей ПО (работы Т.Д. McCabe, Curtis R. Cook, Oviedo E.J., Холстед М., Э. Уайт, Э. Д. Камаль, Хмелев Д.В., Залезский А.А., Изосимов А.В., Рыжко А.Л.).

Системы оценки, основанные на количественных показателях, позволяют решать следующие задачи:

- оценка экономических показателей (время, трудоемкость, стоимость);
- оценка рисков по проекту;
- оперативное управление проектом.

Для построения систем оценок используются информационные метрики, которые базируются на определении размерных и функциональных характеристик различных проектов.

Исследования в области обмена данными в профессиональных программных средах, которыми занимались зарубежные и отечественные авторы: Meguid S.A., Bernus P., Nemes L., М.В.Овсянников, С.В.Сумароков, Е.В.Судов, А.И.Левин, А.Ф.Колчин, С.В.Стрекалов, Ю.М.Соломенцев, А.Н.Ковшов, С.И.Ротков, Л.И.Райкин, Б.М.Позднеев, и др. – показали, что в настоящее время наиболее распространенным способом обмена данными между профессиональными программными средами является обмен с помощью файлов. Наиболее распространенные из них – это обменные файлы STEP и IGES, но и с помощью этих файлов невозможно передать все 100% информации о ГМ, а количество восстановленных данных одного и того же файла в разных ППС разное.

В результате анализа выявлено:

1. Отсутствие четкой системы оценки в процессе передачи и восстановления ГМ. Это создает дополнительные проблемы пользователям при передаче информации между ППС работы с ГМ в связи с постоянно возрастающим их количеством от различных производителей.
2. Отсутствие универсального платформенно-независимого пути передачи 100% информации в процессе обмена ГМ в ППС. Процесс полного восстановления ГМ достаточно сложен и дорогостоящ.
3. Информационные метрики не применяются в процессе оценки передачи и восстановления ГМ, что сказывается на отсутствии возможности создания метрического базиса оценок для сравнения.
4. Автоматизированные компьютерные системы не применяются для интегрированной оценки передачи и восстановления ГМ. Использование этих систем предусматривает передачу и восстановление только отдельных параметров ГМ.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует, что в процессе передачи и восстановления ГМ в ППС отсутствуют четкие критерии их оценки. Использование информационной метрики позволит объективно оценить технико-экономические показатели процесса передачи и восстановления ГМ.

**Во второй главе** предлагается и исследуется классификация параметров геометрической модели в виде иерархического пространства, на основании которой производятся размерно-ориентированная и функционально-ориентированная оценка для расчета информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС.

Для определения платформенно-независимой информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС некая произвольная геометрическая модель, которая характеризуется рядом параметров  $\{m_1, m_2, m_3, \dots, m_n\}$ , обозначается в виде вектора  $\vec{M}(m_i)$ , а профессиональная программная среда, в которой данная модель рассматривается, – S. Геометрическая модель, созданная в профессиональной

программной среде  $S_1$ , обозначается  $\vec{M}_1(m_i)$ . После процесса передачи этой модели в другую программную среду  $S_2$  полученная модель обозначается  $\vec{M}_2(m_i)$ .

Для определения количественного показателя переданных данных из одной профессиональной программной среды в другую вводится коэффициент передачи  $q$ , который определяется путем исследования технологического процесса передачи ГМ из одной программной среды в другую Таким образом:

$$q_{i,S_1 \rightarrow S_2} = \frac{\vec{M}_2(m_i)}{\vec{M}_1(m_i)} \quad (1)$$

где  $q_{i,S_1 \rightarrow S_2}$  – коэффициент передачи  $i$ -того параметра ГМ;

$\vec{M}_1(m_i)$  – вектор параметров, описывающих геометрическую модель, созданную в профессиональной программной среде  $S_1$ ;

$\vec{M}_2(m_i)$  – вектор параметров, описывающих геометрическую модель, созданную в профессиональной программной среде  $S_2$ .

Определив коэффициент передачи каждого параметра ГМ, можно определить коэффициент искажения каждого параметра ГМ ( $p_i$ ) – количество искажившихся (не переданных) данных из одной профессиональной программной среды в другую.

$$p_{i,S_1 \rightarrow S_2} = 1 - q_i \quad (2)$$

где  $p_{i,S_1 \rightarrow S_2}$  – коэффициент искажения  $i$ -того параметра геометрической модели, созданной в профессиональной программной среде  $S_1$  в среду  $S_2$ ,  $p_{i,S_1 \rightarrow S_2} = [0, 0,5, 1]$ . При полном сохранении параметра значение данного коэффициента выставляется равное 0. При частичном сохранении параметра – 0,5. Если параметр не передается, коэффициент искажения принимает значение 1.

В результате проведенного исследования, была сформирована структура, представленная в виде списка параметров, и построен граф в виде дерева (рис.1).

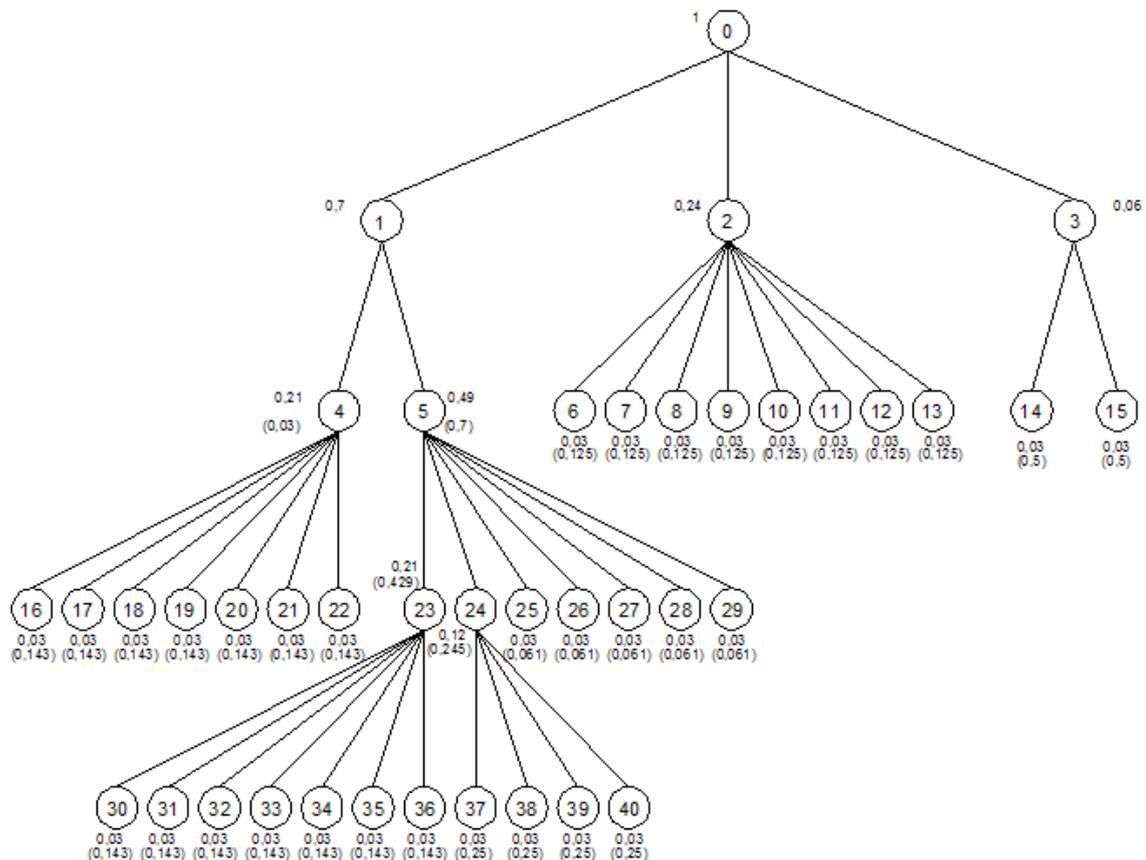


Рис. 1. Иерархия с равными весами первичных параметров

На основании построенного графа иерархической структуры параметров, производятся расчеты и получаются локальные веса относительно иерархического веса параметра старшего уровня, которые являются структурными весовыми коэффициентами показателей сложности восстановления параметров ГМ ( $w_i^c$ ).

Определение приоритетов экспертов по критериям сложности восстановления параметров ГМ в ППС производится посредством опроса и выставления ими оценок. Оценку эксперты будут производят методом непосредственных оценок, по шкале от 1 (сложность восстановления параметра не высокая для данного эксперта) до 10 (параметр очень тяжело восстановить, затраты на его восстановление высокие для данного эксперта) с шагом 1.

Средняя оценка (вес) каждого параметра рассчитывается на основе рекомендаций математико-статистического метода по формуле:

$$w_i^{\text{э}} = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

где  $w_i^{\text{э}}$  - вес  $i$ -го параметра, подсчитанный по оценкам всех экспертов;

$w_{ij}$  - вес  $i$ -го параметра, данный  $j$ -им экспертом;

$n$  – число параметров;

$m$  – число экспертов.

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (4)$$

где  $w_{ij}$  - вес  $i$ -го параметра, данный  $j$ -им экспертом;

$x_{ij}$  – оценка  $i$ -го параметра, данная  $j$ -им экспертом;

$n$  – число параметров.

Весовые коэффициенты, которые будут отражать предпочтения экспертов и особенности структуры, определяем в соответствии с теорией рационального выбора. Воспользуемся формулой:

$$w_i^{\text{эс}} = \frac{w_i^{\text{э}}}{w_i^c \sum_{i=1}^n \frac{w_i^{\text{э}}}{w_i^c}}, \quad (5)$$

где  $w_i^{\text{эс}}$  – весовой коэффициент, отражающий мнения экспертов о сложности восстановления  $i$ -го параметра ГМ и особенности структуры графа параметров геометрических моделей;

$w_i^{\text{э}}$  – весовой коэффициент, отражающий только мнения экспертов;

$w_i^c$  – весовой коэффициент, отражающий только особенности структуры графа параметров геометрических моделей.

На основании полученных данных определяется функционально-ориентированная оценка для расчета информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС.

$$k_{i,Z,S_1 \rightarrow S_2} = w_i^{\text{эс}} p_{i,Z,S_1 \rightarrow S_2}, \quad (6)$$

где  $k_{i,Z,S_1 \rightarrow S_2}$  – относительный объем потерь данных параметра при передаче ГМ из профессиональной программной среды  $S_1$  в среду  $S_2$  в формате  $Z$ ;

$p_{i,Z,S_1 \rightarrow S_2}$  – относительный объем ручного восстановления параметра  $[0, 0,5, 1]$ ;

$w_i^{\text{эс}}$  – коэффициент регулировки объема ручного восстановления параметра.

Преимуществом данной функционально-ориентированной оценки является ее независимость от способа описания ГМ и от ППС приемников и передатчиков ГМ.

При получении значения относительного объема потерь данных более 0,5 (потери превысили 50%) сложность восстановления ГМ полностью в ручном режиме будет меньше, чем сложность восстановления данных, утраченных при передаче ГМ.

Для получения абсолютных значений оценки используется размерно-ориентированная характеристика передачи и восстановления ГМ. Данные характеристики отражают объем ГМ, исходя из количества параметров ГМ, а также числа элементов каждого параметра. Размер параметров определяется по количеству строк в файле описания ГМ. Обозначим данную оценку –  $L$ .

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \quad (7)$$

где  $L$  – размерно-ориентированная оценка передачи и восстановления ГМ.

$L_i$  – размерно-ориентированная оценка передачи и восстановления параметра ГМ.

Достоинством данной размерно-ориентированной оценки передачи и восстановления ГМ является простота ее вычисления, а недостатком – зависимость от способов построения и описания ГМ.

Таким образом, информационная метрика объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ в ППС, основанная на размерно-ориентированной и функционально-ориентированной оценке, будет определяться как:

$$V_{Z,S_1 \rightarrow S_2} = \sum_{i=1}^n L_i k_{i,Z,S_1 \rightarrow S_2} \quad (8)$$

где  $V_{Z,S_1 \rightarrow S_2}$  – информационная метрика объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ в ППС;

Для автоматизации процесса оценки используются данные, полученные из файлов открытых форматов STEP и IGES. Данные форматы поддерживают описание только геометрии, поэтому расчет значений оценки атрибутивной информации и параметров передающего файла производится на основании весовых коэффициентов, данных экспертами. Таким образом:

$$L_{\text{атриб.}} = 0,1L_{\text{геом.}}, \quad S_{\text{файла}} = 0,002L_{\text{геом.}} \quad (9)$$

Значение размерно-ориентированной оценки параметров файла ГМ является малой и не будет влиять на результат вычислений, поэтому при расчете информационной метрики объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ в ППС учитываться не будет.

$$V_{Z,S_1 \rightarrow S_2} = L_{\text{геом.}} (k_{\text{геом.},Z,S_1 \rightarrow S_2} + 0,1k_{\text{атриб.},Z,S_1 \rightarrow S_2}), \quad (10)$$

Информационная метрика объема потерь данных может применяться к трем типам передачи и восстановления ГМ:

- ручной – все значения относительного объема ручного восстановления параметров ГМ равны 1;
- полуавтоматический – значения относительного объема ручного восстановления параметров ГМ принимают разные значения;
- автоматический – все значения относительного объема ручного восстановления параметров ГМ равны 0.

При использовании метрики для определения технико-экономических показателей процесса передачи и восстановления ГМ в ППС необходимо ввести коэффициенты корректировки метрики, которые будут изменяться в соответствии с

опытными данными, накопленными в метрическом базисе предприятия. К таким коэффициентам можно отнести:

$a$  – коэффициент уникальности элементов параметров ГМ. Этот коэффициент отражает уникальность элементов параметра модели и влияет на значение расчета информационной метрики, т.к. ресурсы, затраченные на тиражирование уникального элемента, не пропорциональны затратам на восстановление каждого такого элемента, а объем этого параметра ГМ будет равным при любом способе его задания. Данный коэффициент должен компенсировать эту разницу. Чем больше элементов, полученных путем тиражирования, тем меньше коэффициент уникальности элементов.

$b$  – коэффициент сложности элементов ГМ. Этот коэффициент отражает сложность восстановления элементов ГМ. В зависимости от него можно группировать ГМ по классам и вести расчет технико-экономических показателей процесса передачи и восстановления ГМ не для каждой модели, а для класса моделей.

Так же при накоплении достаточного количества данных в метрическом базисе предприятия могут быть введены коэффициенты корректировки метрики по мощности вычислительной техники, опыту персонала, используемым технологиям и т.д.

Для оценки технико-экономических показателей процесса передачи и восстановления ГМ определяется информационная метрика объема потерь данных ГМ на основании следующей методики.

1. Геометрические модели, предназначенные для оценки, распределяются по классам (сложности, уникальности и т.п.).
2. Определяется вектор параметров  $\vec{M}(m_i)$ , присущих каждому классу.
3. Рассчитывается абсолютный объем каждого параметра по всему классу на основании данных файлов формата STEP или IGES.
4. Рассчитывается относительный объем потерь данных вектора параметров при передаче ГМ из профессиональной программной среды  $S_1$ , в среду  $S_2$  в формате Z.
5. В соответствии с формулой (10) производится расчет информационной метрики передачи и восстановления ГМ.

В результате разработаны теоретические основы для создания автоматизированной системы получения значений платформенно-независимой информационной метрики передачи и восстановления ГМ.

**Третья глава** посвящена разработке автоматизированной системы оценки параметров геометрических моделей, позволяющей производить расчет информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС.

Основным функционалом приложения являются:

- автоматизация процесса сбора и обработки данных, полученных от экспертов, для определения функционально-ориентированных оценок процесса передачи и восстановления ГМ;
- автоматизация расчета размерно-ориентированных оценок на основании данных файлов ГМ формата STEP или IGES;
- выбор параметров ГМ для включения в метрику;
- накопление данных;
- обработка результатов;
- расчёт и вывод статистических данных.



SERVICE\_ACCESS – определяет права доступа к функциям приложения.

INVITATIONS – хранит данные о приглашениях пользователям.

PASSWORDS – содержит пароли пользователей.

SESSIONS – хранит данные, связанные с HTTP-сессиями пользователей.

USERS\_IN\_GROUPS – определяет принадлежность пользователей к пользовательским группам.

GROUP\_RIGHTS – определяет права для участников пользовательских групп.

RATE\_WEIGHTS – хранит данные об оценках важности параметров геометрических моделей, данных экспертами.

CONVERSION\_RATE – хранит данные об оценках качества переноса геометрических моделей из одной системы в другую.

На основании представленной структуры была создана «Автоматизированная система оценки параметров геометрических моделей», которая позволяет производить сбор данных от экспертов, рассчитывать информационную метрику на основании выбранных параметров ГМ.

Для повышения точности расчетов технико-экономических показателей на основании информационной метрики необходима постоянная корректировка коэффициентов. Она производится на основании статистических данных, накопленных на предприятии в метрической базе. Уточнению подлежат как коэффициенты корректировки, так и возможно уточнение весовых коэффициентов параметров ГМ.

Получив необходимые данные от экспертов по критериям сложности восстановления параметров ГМ в ППС, был проведен их анализ. Для этого был использован программный комплекс «Statistica»™, содержащий инструменты для визуализации данных и проведения статистического и графического анализа. Пример такого анализа по параметру «Геометрия-Сборка-Точность соединений» представлен на рис. 3.

Проверка нулевой гипотезы проводится, используя статистический критерий Лиллиефорса, являющийся модификацией критерия Колмогорова–Смирнова.

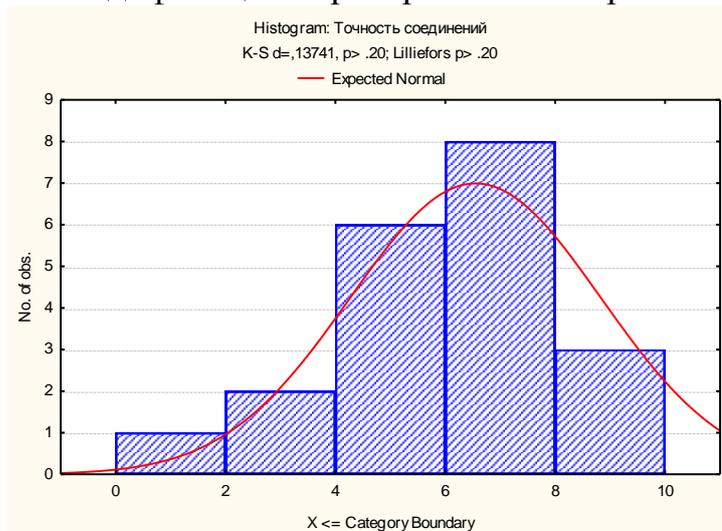


Рис. 3. График функции плотности распределения мнений экспертов по параметру «Геометрия-Сборка-Точность соединений»

где  $d$  – максимальное отклонение;

$p$  – уровень значимости критерия Колмогорова-Смирнова;

Lilliefors  $p$  – уровень значимости критерия Лиллиефорса.

Из рисунка 3 видно, что функция плотности распределения мнений экспертов по параметру «Геометрия-Сборка-Точность соединений» распределена нормально с большой долей вероятности (с уровнем значимости по критерию Колмогорова-Смирнова  $p > 0,20$  и с уровнем значимости критерия Лиллиефорса Lilliefors  $p > 0,20$ ).

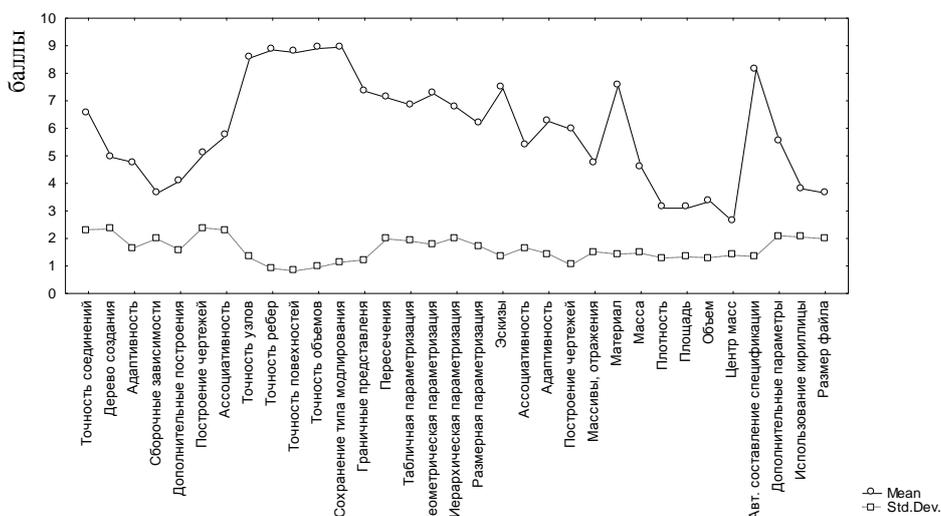


Рис 4. График сравнения средних значений (Mean) и стандартных отклонений (Std.Dev.) величин оценок экспертов по каждому параметру ГМ при передаче ее из одной программной среды в другую

Для более удобной сравнительной оценки полученных значений строится график сравнения средних значений (Mean) и стандартных отклонений (Std.Dev.) величин оценок экспертов по каждому параметру ГМ при передаче ее из одной программной среды в другую (рис.4) для визуальной оценки каждого параметра по значениям этих графиков.

В результате была создана автоматизированная система оценки параметров геометрических моделей, позволяющая производить расчет информационной метрики передачи и восстановления ГМ в ППС.

**В четвертой главе** описан процесс практического применения разработанной методики, на основании которой вычисляется информационная метрика, а также производится расчет технико-экономических показателей передачи и восстановления ГМ.

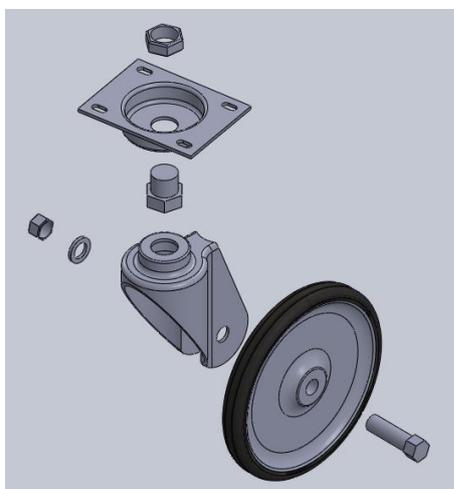


Рис.5. Геометрическая модель мебельного колеса

Для обоснования работы методики производится расчет информационной метрики на примере геометрических моделей разных классов

- простые 3D модели (рис. 5);
- 3D модели со сложной геометрией (рис. 6);
- сборочные узлы (рис.7).



Рис.6. Геометрическая модель литого диска

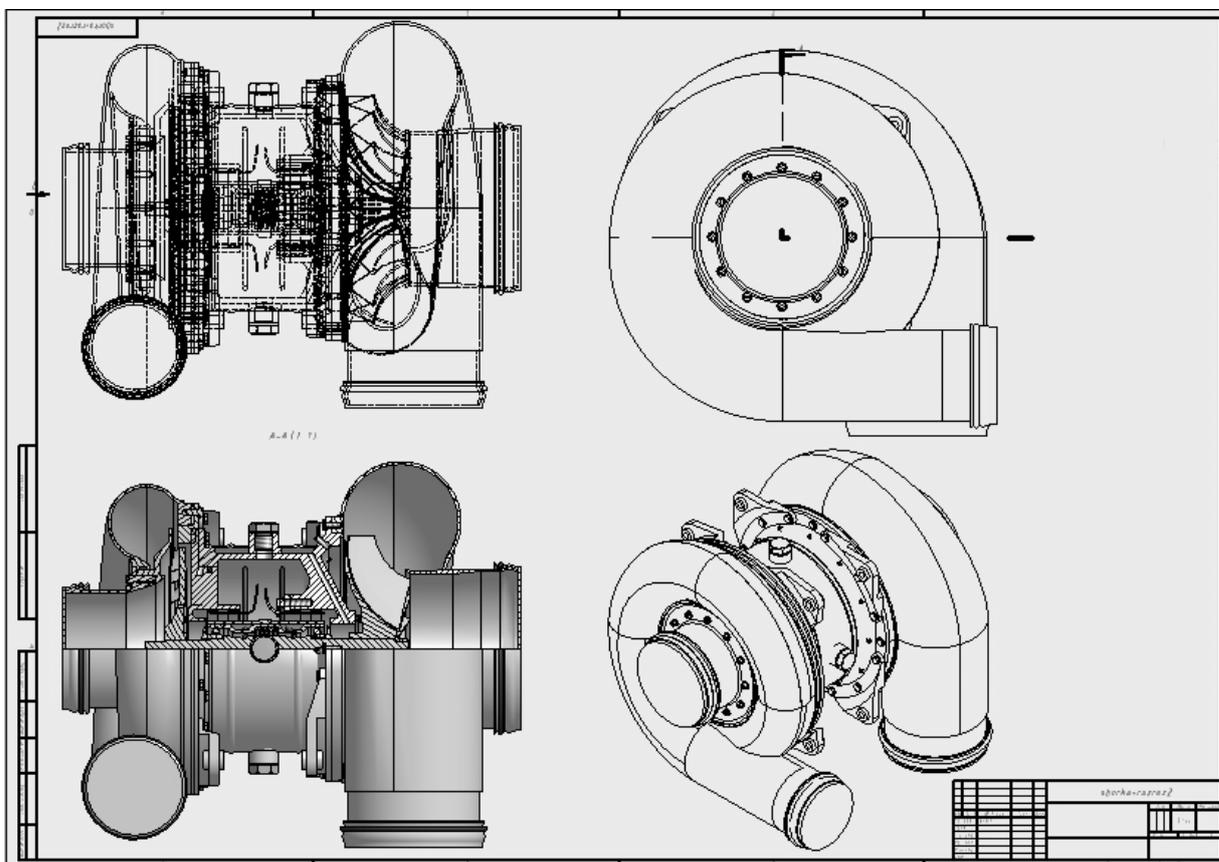


Рис.7. Геометрическая модель сборочного узла «турбохолодильник»

Вначале рассчитаем информационную метрику при условии выбора ручного типа восстановления (таблица 1).

Таблица 1. Значения информационной метрики различных ГМ

	дет.1	дет.2	дет.3	дет.4	дет.5	диск	узел
$S_{\text{геом.}}$	163	280	1005	894	89	16438	80383
$k_{\text{геом.},Z,S_1 \rightarrow S_2}$	1	1	1	1	1	1	1
$k_{\text{атриб.},Z,S_1 \rightarrow S_2}$	1	1	1	1	1	1	1
$V_{\text{руч}}$	179	308	1106	983	98	18082	88421

Для расчета информационной метрики объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ с использованием передающего файла необходимо знать относительный объем ручного восстановления каждого параметра ГМ (коэффициент искажения). Необходимые значения получают путем исследования технологического процесса передачи ГМ из одной программной среды в другую. Для этого строится геометрическая модель «Вал» в системе Autodesk Inventor Professional 2013 (рис.8). Построения ведутся с использованием стандартного программного интерфейса на основании принципа корректных построений.

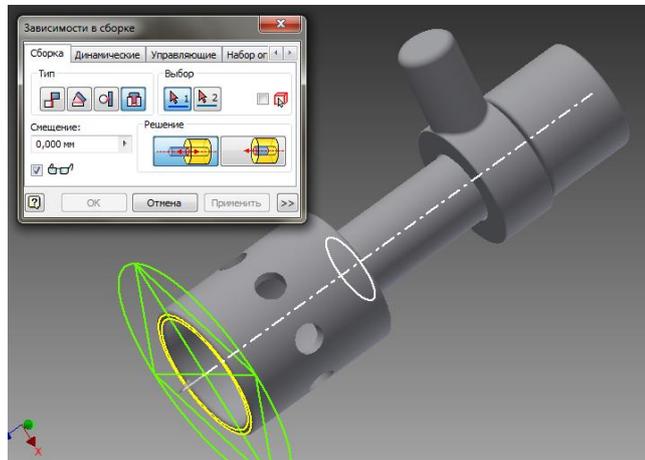


Рис.8. Геометрическая модель сборки, созданная в Autodesk Inventor Professional 2013

Геометрическая модель импортируется в SolidWorks 2013 (рис.9). В процессе импорта детали выполняется диагностика модели, предлагаемая программой. После диагностики и распознавания программой элементов ГМ открывается импортируемая нами ГМ.

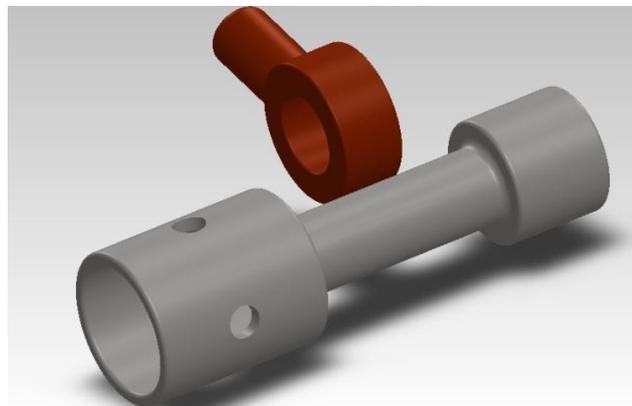


Рис. 9. Вид сборки в SolidWorks 2013 после импорта из Autodesk Inventor Professional 2013

Получив необходимые значения ( $k_{\text{геом.},IGES,AI \rightarrow SW} = 0,28$ , а  $k_{\text{геом.},STEP,AI \rightarrow SW} = 0,27$   $k_{\text{атриб.},IGES,AI \rightarrow SW} = 1$ , а  $k_{\text{атриб.},STEP,AI \rightarrow SW} = 1$ ), рассчитывается

информационная метрика объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ с использованием файлов в формате STEP и IGES между Autodesk Inventor Professional 2013 в SolidWorks 2013 (таблица 2).

На основе полученных данных можно сделать вывод, что при необходимости перевода ГМ из системы Autodesk Inventor Professional 2013 в SolidWorks 2013 не имеет значения выбор формата между IGES и STEP, т.к. информационная метрика объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ в этих форматах отличается не более чем на 3%, что не является значимым результатом. Использование передающего файла оправдано, т.к. по сравнению с полностью ручным восстановлением ГМ затраты на передачу и восстановление ГМ снижаются примерно в три раза.

Таблица 2. Значения информационной метрики различных ГМ при разных способах их передачи и восстановления

	дет.1	дет.2	дет.3	дет.4	дет.5	диск	узел
$S_{\text{геом.}}$	163	280	1005	894	89	16438	80383
$k_{\text{геом.,IGES,AI} \rightarrow \text{SW}}$	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
$k_{\text{геом.,STEP,AI} \rightarrow \text{SW}}$	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
$k_{\text{атрибут.,IGES,AI} \rightarrow \text{SW}}$	1	1	1	1	1	1	1
$k_{\text{атрибут.,STEP,AI} \rightarrow \text{SW}}$	1	1	1	1	1	1	1
$V_{\text{IGES,AI} \rightarrow \text{SW}}$	62	106	382	340	34	6246	30546
$V_{\text{STEP,AI} \rightarrow \text{SW}}$	60	104	372	331	33	6082	29742
$V_{\text{руч}}$	179	308	1106	983	98	18082	88421

Произведем расчет времени на передачу и восстановление ГМ на основании информационной метрики объема потерь данных при передаче и восстановлении ГМ. Для примера берется 30 сборочных единиц (по 7-10 деталей в сборке) одного класса. Прогнозируется время восстановления всех моделей в ручном режиме на основании статистических данных времени передачи и восстановления нескольких моделей этого класса (таблица 3).

Таблица 3. Экспериментальные данные зависимости времени на передачу и восстановление параметров геометрии от информационной метрики объема потерь данных ГМ

$V_{\text{руч}}$	179	308	1106	983	98	342	534	1088	816	398	287	882	1379
$t_{\text{ручное}}$	2	4	10	11	2	3	5	12	8	5	4	10	14

Получив экспериментальные данные, строится математическую модель на основании уравнения регрессии. График зависимости времени от информационной метрики объема потерь данных представлен на рис. 10, время на восстановление ГМ будет определяться по формуле (11).

$$t_{\text{руч}} = 0,7 + 0,01V_{\text{руч}}. \quad (11)$$

В соответствии с методикой определяется метрика всех ГМ выбранного класса и подставляется в формулу, полученную на основании опытных данных.

$$t_{\text{руч}} = 0,7 + 0,01 * 105227 = 1053 \text{ (мин.)}$$

Для подтверждения полученных результатов производятся замеры времени на передачу и восстановление всего объема данных. Сравнивается прогнозируемое время

со значением замеров времени ручного восстановления и восстановления с использованием передающих файлов в форматах IGES и STEP всех ГМ. Сравнение производится при условиях, не учитывающих детализацию параметра геометрии (таблица 4), и условиях, учитывающих детализацию параметра геометрии (таблица 5). В первом случае полученную ГМ можно рассматривать для использования в качестве типовых деталей, не требующих редактирования, во втором – появляется возможность быстрого редактирования средствами системы SolidWorks 2013 любого параметра ГМ.

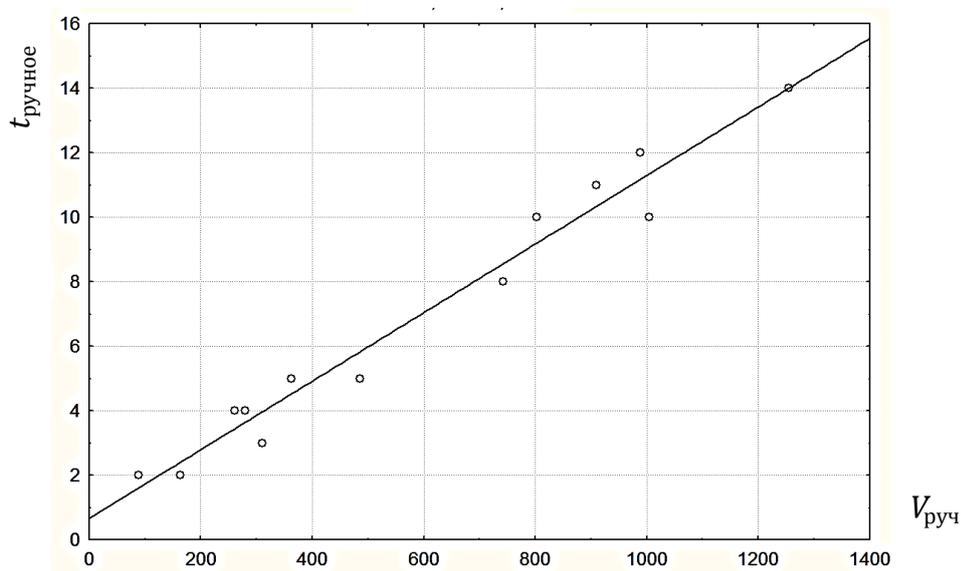


Рис.10. График зависимости  $t_{ручное}(V_{руч})$ .  
По оси X:  $V_{руч}$ , по оси Y:  $t_{ручное}(V_{руч})$

Таблица 4. Информационная метрика, рассчитанная при условии, не учитывающем детализацию параметра геометрии

	$t_{руч,AI \rightarrow SW}$	$t_{stp,AI \rightarrow SW}$	$t_{IGES,AI \rightarrow SW}$
Прогнозируемое время	1053	390	400
Практические замеры	1204	420	432

Значения прогнозируемого времени в форматах IGES и STEP выставляются равные времени на ручное восстановление, т.к. относительный объем потерь данных превысил 50%, и восстановить ГМ полностью с нуля будет проще и быстрее, чем заниматься восстановлением утраченных при передаче параметров.

Таблица 5. Информационная метрика, рассчитанная при условии, учитывающем детализацию параметра геометрии

	$T_{руч,AI \rightarrow SW}$	$T_{stp,AI \rightarrow SW}$	$T_{IGES,AI \rightarrow SW}$
Прогнозируемое время	1053	1053	1053
Практические замеры	1204	1151	1112

На примере ГМ «Мойка Form 40» (рис. 11) произведен поиск пути ее передачи и восстановления из Solid Works 2013 в Inventor Professional 2013 с наименьшими потерями данных. Исследование проводилось на шести стадиях построения ГМ (от эскиза до полного создания со всеми атрибутами). На основании проведенного исследования получены следующие результаты и сделаны выводы:

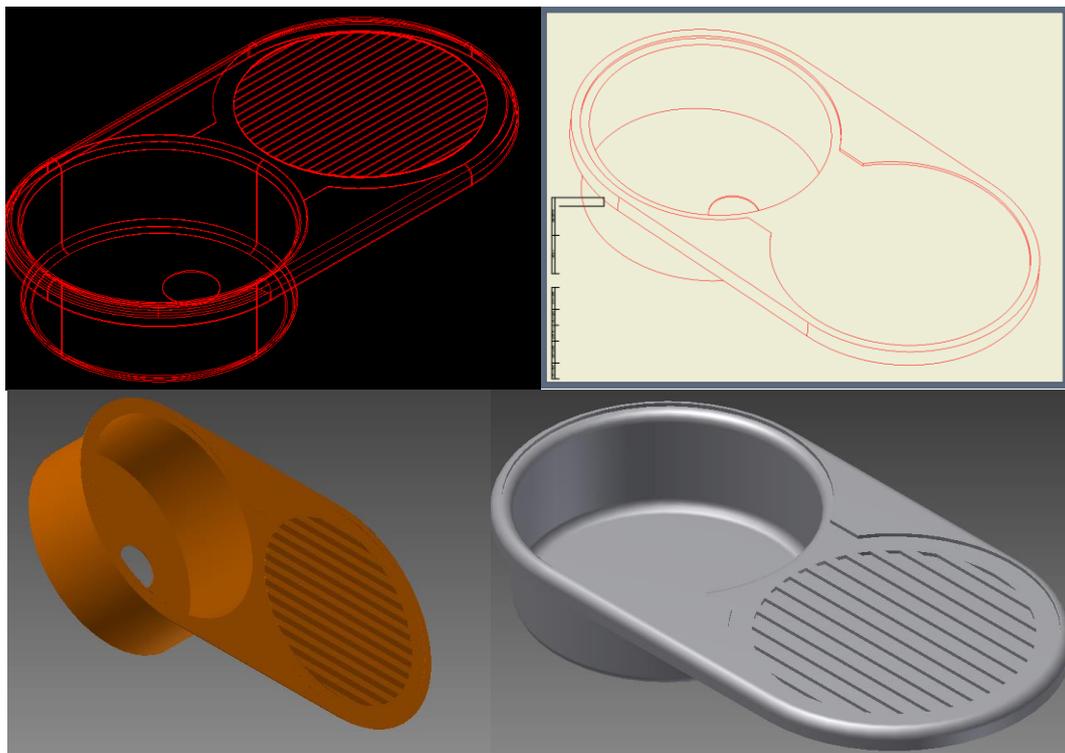


Рис.11. Геометрическая модель «Мойка Form 40», импортированная в разных форматах

1. При попытке импорта файлов удалось импортировать файлы в следующих форматах: dwg, dxf, STEP, stp, crg, x\_b, x\_t, igs, prt1, prt2, PRTDOT, SLDPRT.
2. Для импорта твердотельной модели лучше подходят файлы с расширениями STEP, stp, x\_b, x\_t, igs, prt, SAT, vda, т.к. они все удачно импортировались. Однако, ни при каком расширении модели не сохранили информацию об истории и контексте построения геометрии, ассоциативной связи между моделью и чертежом и т.п., а также свои физические свойства (плотность, масса, материал).
3. Для импорта ГМ на стадии эскиза лучше подходит формат dwg, т.к. он единственный без ошибок сохранил геометрию эскиза.
4. Для передачи и полного восстановления всех параметров ГМ из Solid Works 2013 в Inventor Professional 2013 с наименьшими потерями (для подобных ГМ) нужно сохранять эскизы ГМ в формате dwg и осуществлять передачу и восстановление всех остальных параметров ГМ по полученному эскизу.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложениях приведены дополнительные информационные (табличные и иллюстрационные) данные.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты и выводы:

1. На основании проведенного анализа процесса передачи и восстановления ГМ в ППС выявлено отсутствие платформенно-независимых информационных метрик передачи и восстановления ГМ, а также методов и средств расчета этих метрик.

2. Введена платформенно-независимая информационная метрика и разработана методика ее расчета на основании размерно-ориентированных и функционально-ориентированных оценок для использования в автоматизированной системе.
3. Обоснована методика расчета информационной метрики на примере моделей одного класса на основании метода экспертных оценок, уравнения регрессии, а также практических замеров передачи и восстановления ГМ. Коэффициенты корреляции близки к единице, что доказывает сильную связь между полученными значениями.
4. На основании проведенного исследования установлена линейная зависимость временных затрат на передачу и восстановление ГМ от значений информационной метрики.
5. Разработана автоматизированная система оценки параметров геометрических моделей, позволившая произвести сбор данных от экспертов. Данная система рассчитывает информационную метрику на основании выбранных параметров ГМ, объема параметров ГМ и полученных экспериментальных данных.
6. Произведен расчет значений информационной метрики в зависимости от функционально-ориентированных оценок отражающих целевое назначение ГМ. На основании данного расчета сделан вывод, что для использования ГМ в качестве типовых деталей, не требующих редактирования, имеет смысл применять передающие файлы (форматы STEP и IGES), время на восстановление модели составит меньше 30% от времени полного ручного восстановления. В случае необходимости быстрого внесения изменений в модель средствами системы-приемника необходимо ее полное ручное восстановление.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ИЗДАНИЯХ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ВАК РФ**

1. Филинских, А.Д. Анализ передачи параметрической и графической информации на основе экспериментальных / А.Д. Филинских, А.Х. Бяшеров// Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» № 2, 2012. - С. 164-167.
2. Филинских, А.Д. Технология 3D-моделирования в среде Autodesk для создания дизайн-проектов внутренних помещений/ А.Д. Филинских// Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» №1, 2011. - С. 43-45.

### **СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ**

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013612602. Автоматизированная система оценки параметров геометрических моделей. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06 марта 2013 г.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ**

4. Филинских, А.Д. 3-х мерная модель – основа современного машиностроения / А.Д. Филинских, К.В. Лупанов // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2009» Изд. НГТУ. - С. 106-110
5. Филинских, А.Д. Создание геометрической модели изделия в Autodesk Inventor методами прикладного программирования / А.Д. Филинских, Д.С. Дмитриев,

- Н.В. Коновалов // Материалы международной научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, 2013. – С. 84-88
6. Филинских, А.Д. Информационная обучающая система «Компьютерное архитектурно-строительное моделирование в технологии «Autodesk Architectural» / Р.М. Сидорук, А.Д. Филинских // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» № 3, 2008. - С. 36-40.
  7. Филинских, А.Д. Анализ состояния систем управления проектами на Российских предприятиях. / А.Д. Филинских // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» № 1, 2011 год. – С. 162-167.
  8. Филинских, А.Д. Роль 3D-геометрической модели в модернизации компьютерной графической подготовки в высшем техническом образовании. / Р.М. Сидорук, Л.И. Райкин, А.Д. Филинских // Труды XVIII Всероссийской научно-методической конференции Телематика', 2011. – С. 273-275.
  9. Филинских, А.Д. Исследование технологий обмена данными между системами автоматизации проектных работ разных производителей/ А.Д. Филинских, А.Х. Бящеров // XV Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: (Тезисы докладов) – Изд. Гладкова О.В., 2011. – С. 168
  10. Филинских, А.Д. Модернизация геометрической и графической подготовки студентов технических вузов с учетом требований ИПИ-технологий / Р.М. Сидорук, Л.И. Райкин, А.Д. Филинских // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» № 4, 2008. – С. 91-93.
  11. Филинских, А.Д. Трехмерное параметрическое моделирование в среде Autodesk Inventor и необходимость его применения в подготовке специалистов /А.Д. Филинских, А.Х. Бящеров // Технологии Microsoft в теории и практике программирования Материалы Всероссийской конференции молодых ученых. Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2010. – С. 44-46
  12. Филинских, А.Д. Переход на 3D моделирование с точки зрения ИПИ-технологий / А.А. Титов, А.Д. Филинских// XIV Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: (Тезисы докладов) – Изд. Гладкова О.В., 2009. – С. 49-50
  13. Филинских, А.Д. Autodesk – базовая технология для изучения параметрического моделирования/ А.Д. Филинских // Будущее технической науки: тезисы докладов VII международной молодежной научно-технической конференции; НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород. Изд. НГТУ 2009. – С. 75.
  14. Филинских, А.Д. Геометрическое моделирование фрезы земснаряда в технологии AUTODESK INVENTOR/ А.Д. Филинских К.В. Лупанов // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2009» Изд. НГТУ. – С. 65-68
  15. Филинских, А.Д. Применение технологий .Net в работе с API Autodesk Inventor для решения проблем автоматизации производства / А.Д. Филинских, Д.С. Дмитриев, А.А. Сахаров // Будущее технической науки: тезисы докладов X международной молодежной научно-технической конференции; НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород. Изд. НГТУ 2011. – С. 48.
  16. Филинских, А.Д. Инструменты в API Autodesk Inventor / А.Д. Филинских, Д.С. Дмитриев, А.А. Сахаров // Материалы международной научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам 2011. – С. 51

- 17.Филинских, А.Д. Программное управление анимациями сборки с использованием Autodesk Inventor API. / А.Д. Филинских, Д.С. Дмитриев // Материалы международной научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам 2013. С - 94
- 18.Филинских, А.Д. Решение проблем автоматизации производства средствами Autodesk Inventor API / А.Д. Филинских, Д.С. Дмитриев, А.А. Сахаров // Будущее технической науки: тезисы докладов X международной молодежной научно-технической конференции; НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – Нижний Новгород. Изд. НГТУ 2011. – С. 52.