

СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТИ В ЛОГОС-ПРЕПОСТ

*Кичемасов Нариман Хафизович (NKhKichemasov@vniief.ru),
Губарев Сергей Юрьевич, Логинов Дмитрий Викторович,
Соловьёв Александр Николаевич*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Одной из частей пакета программ ЛОГОС является пре-постпроцессор ЛОГОС-ПРЕПОСТ [1], предназначенный для подготовки задач инженерного анализа. Входными данными для ЛОГОС-ПРЕПОСТ, в большинстве случаев, являются геометрические модели в параметрическом представлении. Чтобы избежать проблем при генерации расчетных сеток, а также сократить временные и финансовые затраты пользователя, в системах инженерного анализа реализуются средства проверки качества геометрической модели, которая состоит из двух частей: анализа качества и диагностики. В ЛОГОС-ПРЕПОСТ были реализованы средства диагностики геометрий для пользователей, выполняющих подготовку и решение задач прочности.

Разработанные средства диагностики позволят определить потенциально проблемные места или элементы в геометрической модели, которые могут препятствовать построению расчетных сеток требуемого качества.

В данной работе рассмотрены основные источники несогласованностей в геометрических моделях, а также приведены классификация и описание возникающих несогласованностей. Кроме того, приводится описание подхода к программной реализации средств диагностики в ЛОГОС-ПРЕПОСТ. Описывается интерфейс пользователя, приводятся примеры использования разработанных функциональных средств.

Ключевые слова: диагностика, алгоритмы, визуализация, несогласованность, расчетная сетка.

DIAGNOSTIC TOOLS FOR GEOMETRIC MODELS FOR PREPARATION OF STRENGTH PROBLEMS IN THE LOGOS PREPOST

*Kichemasov Nariman Khafizovich (NKhKichemasov@vniief.ru),
Gubarev Sergey Yuryevich, Loginov Dmitriy Viktorovich,
Solovyev Aleksandr Nikolaevich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

One of the LOGOS software package components is the LOGOS-PREPOST pre-postprocessor for preparation of engineering analysis problems. The input data for LOGOS-PREPOST, in most cases, are geometric models in parametric representation. In order to avoid negative scenarios and reduce user's time and financial costs, engineering analysis systems implement tools for checking the geometric model quality, including quality analysis and diagnostics. In LOGOS-PREPOST, geometry diagnostics tools were implemented for users who prepare and solve strength problems.

The developed diagnostic tools allow identifying potential areas, or elements of concern in the geometric model that can impede the generation of computational grids of the required quality.

This paper discusses the main sources of inconsistencies in geometric models, as well as classifies and describes emerging inconsistencies. In addition, the approach to software implementation of diagnostic tools in LOGOS-PREPOST is presented. The user interface is described, examples of the use of the developed functional tools are given.

Key words: diagnostics, algorithms, visualization, inconsistency, a computational grid.

Проблема диагностики геометрических моделей в системах инженерного анализа

Современные технологии разработки изделий машиностроения в электронно-цифровой среде подразумевают интенсивный обмен, в частности, геометрическими данными между различными программными продуктами (трансляция САПР-моделей). Основной обмен данными происходит на этапе активной разработки проекта:

- CAD→CAD – создание сборок на основе моделей смежников;
- CAD→CAE – проведение расчетов на прочность, гидродинамику и т. п. инструментами математического моделирования;
- CAD→CAM – моделирование технологических операций и процессов;
- CAD→LOTAR – хранение детали в системе долговременного архивирования на всем протяжении жизненного цикла изделия.

В сложившихся условиях актуальной является необходимость корректной передачи данных из одной САПР-системы в другую. Разработчики САПР-систем всегда обеспечивали свои продукты базовым набором трансляторов, как правило, для работы с нейтральными форматами, такими как: STEP и IGES. Очень часто проблемы передачи геометрических данных возникают именно при попытке конвертации внутреннего представления геометрической модели в нейтральные обменные форматы файлов.

Основными источниками несогласованностей в геометрических моделях являются:

1). Разная концепция представления геометрической точности.

Некоторые системы моделирования используют относительную точность представления геометрии и топологии. Величина точности зависит от габаритов всей детали или от текущего размера элемента детали. Такой метод определения точности приводит к изменению точности модели, а также потере твердотельного представления (с образованием зазоров между кромками соседних поверхностей) при чтении подобных моделей в современных САПР, построенных на абсолютной точности представления линейных размеров, независимо от габарита изделия.

2). Различные концепции внутреннего представления тел – однородное и неоднородное (non-manifold) представление.

В случае однородного представления тело сложной формы представляется как единый объем пространства, ограниченный поверхностями, обрезанными друг по другу, с использованием топологии. В случае неоднородного представления модели тело состоит из нескольких оболочек, стыкующихся друг с другом по соседним частям.

3). Некорректная реализация алгоритмов трансляции форматов САПР.

Такая некорректность возникает из-за порой неполной поддержки нейтральных форматов или вследствие закрытости «родных» форматов САПР.

Популярные нейтральные форматы IGES и STEP хоть и являются стандартами, но не требуют обязательного использования всего заложенного в них функционала и допускают частичную или двоякую (неоднозначную) интерпретацию данных, а, следовательно, частичную реализацию в программных кодах. Если добавить к этому существование различных версий данных форматов, то в итоге может быть получен некачественный результат при передаче модели САПР с атрибутами через форматы.

4). Разная алгебраическая точность в реализации математических функций.

Имеется в виду разная алгебраическая точность в реализации математических функций применении полиномов различных степеней при описании поверхности двойной кривизны, а также разное количество используемых контрольных точек в поверхностях любых типов.

Встречающиеся на практике комбинации различных причин появления ошибок приводят к изменению в описании геометрической модели, а в конечном счете к браку на производстве, временным и финансовым потерям. Кроме того, эти ошибки могут помешать генерации качественной расчетной сетки, что, в свою очередь, приведет к ошибкам в моделировании физических процессов, поэтому обнаружение потенциальных проблем в геометрических моделях актуально для систем инженерного анализа, одной из которых является пакет программ ЛОГОС, разрабатываемый в ИТМФ.

Классификация и описание несогласованностей в геометрических моделях

Исходя из анализа коммерческого программного обеспечения, выделено общее подмножество типов ошибок в геометрии изделия:

1). Открытые контуры

Внешнее проявление открытого контура показано на рис. 1.

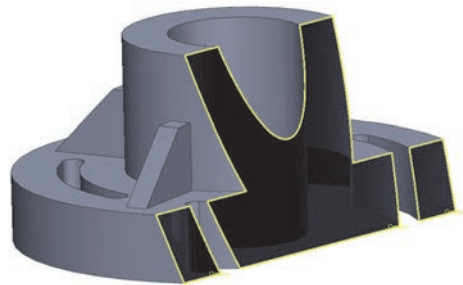


Рис. 1. Открытый контур

На рисунке открытые контуры выделены темным цветом. То есть открытый контур – это замкнутый набор ребер, у которых с одной стороны отсутствует грань. У всех ребер, которые подкрашены желтым цветом, эта грань отсутствует.

2). Т – соединения

Т – соединение можно описать следующим образом: между ребрами стыкующихся граней существует зазор, и угол между нормальными этими граней стремится к 90° , т. е. они образуют соединение в виде буквы «Т». Схематично Т – соединения показано на рис. 2.



Рис. 2. Т-соединение

3). Уступы

Уступ – это вид зазора между смежными гранями, при котором угол между нормальными этих граней стремится к 0° . Расстояние между проекцией ребра первой грани на вторую грань и ребром второй грани будет отлично от нуля. Схематично это выглядит как показано на рис. 3.



Рис. 3. Уступ

4). Зазоры

Простой зазор – наличие пустого пространства между двумя смежными гранями. Расстояние между проекцией ребра первой грани на вторую грань и ребром второй грани стремится к нулю. Схематично зазор показан на рис. 4.



Рис. 4. Зазор

5). Перекрытия

Перекрытие – это наложение двух граней друг на друга. Схематично это показано на рис. 5.



Рис. 5. Перекрытие

6). Нетриммированные грани

Нетриммированная грань характеризуется наличием грани с открытыми ребрами и наличием контура, состоящего из ребер других граней и лежащего внутри этой грани. Нетриммированная грань показана на рис. 6.

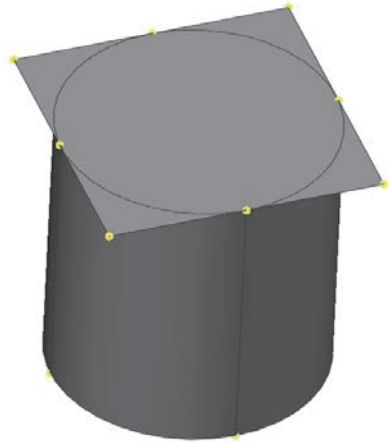


Рис. 6. Нетриммированная грань

7). Пересечения

Пересечение двух тел характеризуется наличием общих геометрических точек, принадлежащих граням двух тел одновременно.

8). Самопересечения

Самопересечение тела характеризуется двумя случаями. Наличием общих геометрических точек, принадлежащих двум граням тела. При этом это не точки, лежащие на общем ребре этих граней. Простейший случай пересечения представлен на рис. 7.

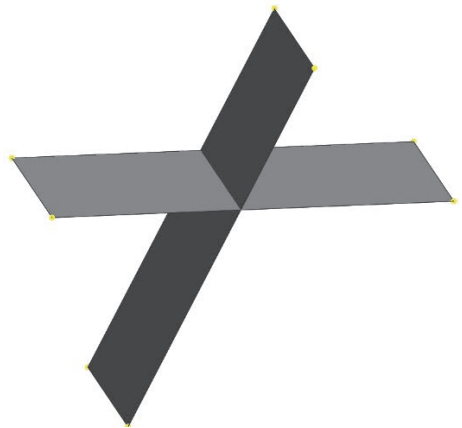


Рис. 7. Пересечение граней

Вторым случаем является наличие самопересекающейся грани. У такой грани присутствуют параметры в области определения, дающие одну и ту же точку в евклидовом пространстве, и это не полюсная точка. Пример самопересекающейся грани представлен на рис. 8.

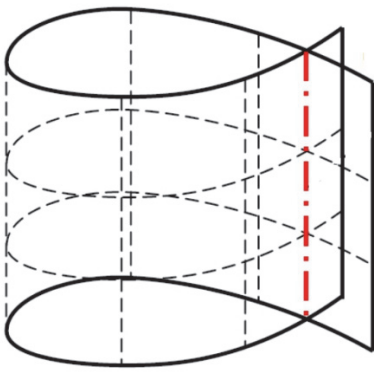


Рис. 8. Самопересечение грани

9). Несогласованные контуры

Несогласованный контур является подтипом открытого контура и характеризуется разрывом между вершинами последовательных ребер контура. На рис. 9 внешний контур граней в месте их соединения содержит разрыв из-за наложения одной грани на другую.



Рис. 9. Несогласованный контур

Подход к реализации

При реализации средств диагностики геометрических моделей необходимо учитывать особенности используемого пре-постпроцессором геометрического ядра.

В ЛОГОС-ПРЕПОСТ при подготовке к решению задач прочности в качестве геометрического ядра используется программная библиотека C3D [2].

В качестве алгоритмов диагностики геометрических моделей использованы алгоритмы программной

библиотеки AnalysisNN, реализованной в ИТМФ. Библиотека реализована на языке C++ и использует алгоритмы геометрического ядра C3D.

Общая логика работы операции диагностики состоит из следующих шагов:

- сбор входных данных;
- подготовка данных для запуска алгоритмов диагностики;
- выполнение алгоритмов диагностики;
- отображение результатов (несогласованностей) для пользователя.

На рис. 10 представлены этапы типового сценария взаимодействия пользователя со средствами диагностики в ЛОГОС-ПРЕПОСТ.



Рис. 10. Типовой сценарий взаимодействия пользователя со средствами диагностики геометрии

Программная реализация

После того, как подход к реализации взаимодействия пользователя со средствами диагностики был разработан, а алгоритмы диагностики реализованы в динамической библиотеке AnalysisNN, были реализованы средства диагностики в ЛОГОС-ПРЕПОСТ.

Статическая диаграмма реализованных классов представлена на рис. 11.

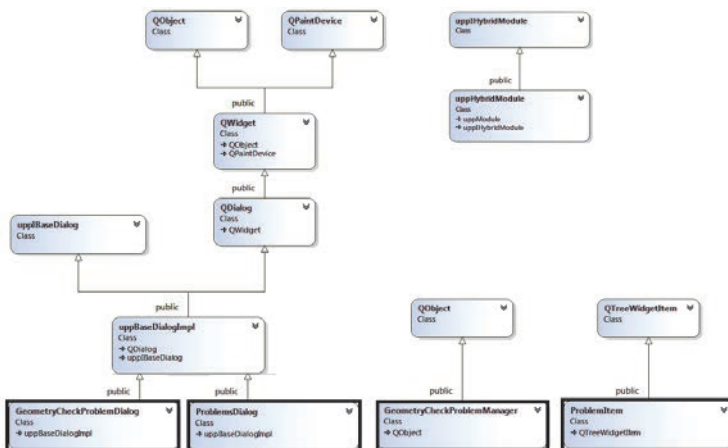


Рис. 11. Схема классов

Класс `GeometryCheckProblemManager` предназначен для управления работой созданного диалогового окна.

Назначением класса `GeometryCheckProblemDialog` является описание диалогового окна. На рис. 12 в верхней части диалогового окна показан набор командных кнопок, предназначенных для комфортной работы пользователя со средствами диагностики:

- кнопка обновления дерева несогласованностей;
- кнопка вызова справки.

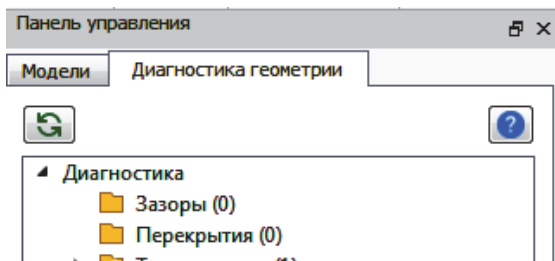


Рис. 12. Набор функциональных кнопок

Класс `ProblemsDialog` описывает дерево несогласованностей в геометрической модели. Класс `ProblemsDialog` является основным функциональным классом, обеспечивающим взаимодействие между графическим пользовательским интерфейсом (ГПИ) и библиотекой `AnalysisNN`. Пример отображения дерева несогласованностей продемонстрирован на рис. 13.

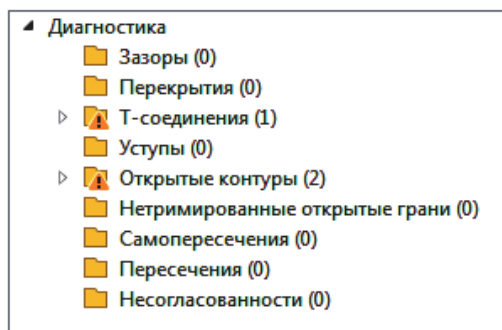


Рис. 13. Пример отображения несогласованностей в диалоговом окне

Назначением класса `ProblemItem` является описание элемента дерева несогласованностей в геометрической модели. Пример отображения элементов дерева несогласованностей показан на рис. 14.

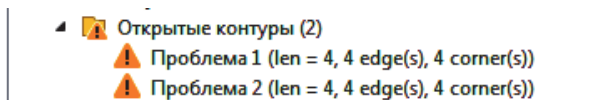


Рис. 14. Пример отображения элементов дерева несогласованностей

Реализованные возможности

В части реализации интерфейса пользователя был разработан ряд возможностей, направленных на обеспечение эффективной работы пользователя с средствами диагностики:

1). Задание точности диагностики.

Реализованная возможность позволяет пользователю задать точность, с которой будут диагностироваться несогласованности.

2). Выделение проблемного элемента.

Реализованный метод, выделения проблемного элемента, предоставляет пользователю возможность его быстрого обнаружения на геометрической модели в окне визуализации. Процесс выделения осуществляется путем подсвечивания (визуального выделения) проблемного элемента на геометрической модели при выборе соответствующего элемента в дереве несогласованностей. Также можно выделить целую категорию проблемных элементов в геометрической модели. Для этого нужно кликнуть левой кнопкой мыши на соответствующую категорию проблем в дереве несогласованностей.

3). Приближение проблемных элементов.

При работе с разработанными средствами диагностики, найденные элементы могут иметь очень малый размер по сравнению со всей моделью или находится внутри тела модели. Для упрощения процесса поиска элемента, не прошедшего диагностику, была реализована возможность приближения проблемного элемента. Для этого достаточно дважды кликнуть левой кнопкой мыши в дереве по нужному узлу.

Верификация и валидация реализованных средств

Для верификации и валидации работы алгоритмов диагностики были созданы модульные тесты. Тесты позволяют проверить корректность единицы исходного кода, одного или более программных модулей. В качестве системы автоматизированного тестирования была выбрана библиотека `Google C++ Testing Framework` [3]. В качестве тестовых геометрий использовались геометрические модели [4], собранные из открытых источников. Результаты тестирования подтвердили корректность работы алгоритмов диагностики.

После тестирования алгоритмов проводилось ручное тестирование средств диагностики в ГПИ. Проверялась корректность получаемых результатов в дереве несогласованностей, а также корректность отображения полученных результатов в окне визуализации. В результате тестирования реализованных средств падений и зависаний обнаружено не было.

Применение средств диагностики на практических задачах

Средства диагностики применялись на геометрических моделях, имеющих практическое применение при решении задач прочности.

Например, на рис. 15 представлена геометрическая модель Loptka для одной из задач прочности.

ЛОГОС

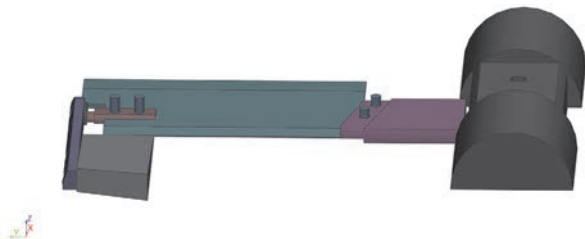


Рис. 15. Исходная геометрическая модель Loptka

Ниже на рис. 16 представлены результаты работы средств диагностики для модели Loptka.

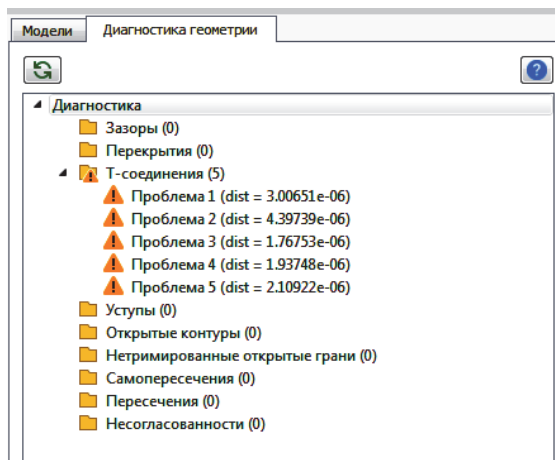


Рис. 16. Результат работы средств диагностики для модели Loptka

Заключение

В данной работе приведено описание результатов работ по разработке средств диагностики геометрических моделей в ЛОГОС-ПРЕПОСТ. Исследованы основные причины появления ошибок в гео-

метрической модели. Кроме того, выделены и описаны основные типы ошибок, возникающих в геометрических моделях, негативно влияющие на процесс построения расчетных сеток.

Приведено описание основных этапов взаимодействия пользователя с реализованными средствами диагностики.

В ЛОГОС-ПРЕПОСТ реализованы следующие функциональные возможности в части диагностики геометрической модели:

- хранения данных средств диагностики в виде древовидной структуры;
- выделение элементов, не прошедших диагностику на геометрической модели в окне визуализации;
- увеличение несогласованностей в геометрической модели в окне визуализации.

Дано описание реализованных средств диагностики и проведено тестирование разработанных алгоритмов на тестовом наборе моделей, а также проведено тестирование реализованных средств в ГПИ. Кроме того, проведена отработка реализованных средств диагностики на некоторых практических задачах.

В качестве дальнейших направлений развития разработанных средств диагностики в ЛОГОС-ПРЕПОСТ планируется:

- проведение более глубокого тестирования на геометрических моделях, имеющих практическое значение при решениях прочностных задач;
- оптимизация скорости работы алгоритмов анализа качества разработчиками библиотеки AnalysisNN.

Список литературы

1. ЛОГОС-ПРЕПОСТ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://logos.vniief.ru/products/prepost>.
2. «С3D Toolkit» [Электронный ресурс]: Специализированный инструмент для разработчиков программного обеспечения. – Режим доступа: <https://ascon.ru/products/1259/review/>.
3. Sen A. A quick introduction to the Google C++ Testing Framework // IBM Corporation. 2010.
4. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М.: Инфра-М, 2016.