

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ СРЕДСТВАМИ ANSYS WORKBENCH MECHANICAL

*Бурганова И.Н., гр.КМех-601М.*

*Научный руководитель – к.т.н., проф. Балдук П.Г.*

**Аннотация.** В работе рассмотрены возможности топологической оптимизации, выполняемой средствами ANSYS Workbench Mechanical, которая реализуется с помощью АСТ-расширения. Описаны особенности алгоритма оптимизации, требования к исходным данным (в том числе, к исходной геометрии конструкции). Раскрыты основные ошибки в процессе проведения топологической оптимизации.

**Ключевые слова:** *Топологическая оптимизация, ANSYS Workbench Mechanical, АСТ-расширение, STL модель.*

**Цель статьи:** раскрыть идею и особенности реализации топологической оптимизации средствами ANSYS Workbench Mechanical.

**Введение.** Топологическая оптимизация является видом оптимизации формы конструкции, иногда именуемой оптимизацией компоновки. Цель топологической оптимизации состоит в определении лучшего использования материала для исследуемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция (например, общая жесткость или собственная частота) имели максимальное или минимальное значение при наличии существующих ограничений (таких, например, как уменьшение объема). В отличие от традиционной оптимизации, топологическая оптимизация не требует указания параметров оптимизации (то есть независимых переменных, подвергаемых оптимизации) в явном виде. В топологической оптимизации параметром оптимизации является функция распределения материала по объему конструкции [1].

Область конструкции при этом определяется как пространство, внутри которого должна поместиться оптимизируемая конструкция. Область делится на ячейки, к которым прикладываются действующие на конструкцию нагрузки. За целевую функцию в данном случае принимается средняя податливость, получаемой в результате оптимизации структуры, а ограничением является максимальный объем или вес [2].

**Основная часть.** Топологическая оптимизация (Topology Optimization) позволяет улучшать характеристики жесткости и снижать массу конструкций с помощью МКЭ расчетов.

В программном комплексе ANSYS пользователь создает задачу МДТТ (свойства материала, модель из конечных элементов, нагрузки и т.д.) и целевую функцию (функцию, для которой определяется минимум или максимум), и выбирает переменные состояния (зависимые переменные, имеющие ограничения) из набора предварительно определенных критериев.

ANSYS Workbench Mechanical позволяет проводить КЭ расчеты топологической оптимизации, которые можно реализовать с помощью АСТ-расширения [3].

Возможности Topology Optimization:

- АСТ-расширение Topology Optimization позволяет проводить процедуру топологической оптимизации формы детали в среде Workbench;
- Позволяет задавать различные целевые функции и ограничения по результатам расчета, оптимизировать форму детали на основе линейного статического расчета в ANSYS Workbench Mechanical;
- Позволяет рассматривать оптимизированную форму детали и сохранять её в STL-файл;
- ANSYS SpaceClaim позволяет “очищать”, модифицировать и конвертировать сеточную STL-модель в твердотельную модель;
- Построенная твердотельная модель может быть использована для проведения быстрой верификации формы модели, расчета на прочность;
- Оптимизированная STL-модель может быть подготовлена к производству на 3D-принтер.
- Исключается работа с поверхностными моделями (Shell) и балочными моделями (Beam) [4].

ANSYS обладает обширной встроенной библиотекой свойств материалов для расчетов. Геометрия модели может быть импортирована из основных CAD систем: SolidWorks, Autodesk Inventor, PTC Creo, Catia v5, Solid Edge, Rhinoceros, SketchUp, Siemens NX, AutoCAD. При использовании иной CAD системы, как например Компас-3D, геометрия передается через один из многочисленных открытых форматов: Parasolid, STEP, SAT, IGES [5].

Нагрузки на конструкцию не только задаются в ANSYS Workbench Mechanical, но получаются в рамках предварительных расчетов или импорта из внешних файлов (как результаты сторонних расчётов).

После решения прочностной задачи начинается непосредственная работа по топологической оптимизации конструкции. Формулируется целевая функция – снижение податливости конструкции, испытывающей один или несколько вариантов нагружения, увеличение собственных частот, ограничение по деформациям или иная.

Для корректной работы алгоритма оптимизации описывается пространство проектирования: определяется область конструкции, топология которой может меняться, и область, для которой изменения запрещены. Дополнительное удобство обеспечивают инструменты, контролирующие возможность изготовления получаемой топологии. Эти инструменты позволяют требовать соблюдения линейной или циклической симметрии топологии. Также возможен контроль минимального или максимального размера вновь получаемых элементов топологии конструкции.

После задания всех необходимых настроек алгоритма оптимизации остается указать желаемый процент снижения материалоемкости и запустить расчет.

По итогам расчета ANSYS Workbench Mechanical позволяет экспортировать полученную топологию в формате STL. На этом можно заканчивать оптимизацию, но программное обеспечение ANSYS позволяет сделать намного больше – а именно выполнить поверочный расчет.

ANSYS SpaceClaim Direct Modeler способен прочитать, проверить, исправить и существенно упростить STL геометрию. Обработанная в SpaceClaim STL модель конвертируется в формат, пригодный для повторного расчета.

ANSYS Meshing, основной сеточный генератор ANSYS, обладает специализированным алгоритмом построения качественной сетки на телах, обладающих сложной топологией и высокой сложностью поверхностей [6].

Основные ошибки, допускаемые при топологической оптимизации:

1) *Указание некорректной области для оптимизации.*

Процесс топологической оптимизации начинается с выбора области, в рамках которой оптимизатор проводит поиск. Одним из наиболее значимых факторов при выборе области для оптимизации является учёт взаимодействия детали в сборке.

Использование геометрической модели уже существующей детали – плохой вариант, так как она уже имеет (скорее всего) неоптимальное распределение материала. Топологический оптимизатор «не умеет»

добавлять материал, он ищет оптимальный вариант конструкции путём удаления участков геометрии из заданной области.

#### 2) *Определения областей для обязательного сохранения.*

После указания области для оптимизации (в рамках которой программа будет искать результат) важно также определить те области, которые точно нужно сохранить. Чаще всего это участки, через которые компоненты контактируют друг с другом, или просто части, без которых нормальное функционирование детали невозможно.

#### 3) *Низкая плотность сетки.*

Результаты топологической оптимизации чувствительны к конечно-элементной сетке, то есть полученная форма конструкции может отличаться при расчётах на различных сетках. В связи с этим, использование недостаточно мелкой сетки может приводить к неудовлетворительным результатам. С измельчением сетки некоторые участки оптимизированной области становятся всё сложнее и начинают состоять из всё более мелких элементов. Для учёта вышеперечисленного эффекта в ANSYS Topology Optimization рекомендуется подбирать размер конечных элементов таким, чтобы, как минимум, три элемента умещалось по толщине наименьшей грани предполагаемой формы детали.

#### 4) *Неверная оценка времени оптимизации и проектирования.*

При использовании топологической оптимизации результатом команды «Solve» является не конечный дизайн или форма детали. Результаты оптимизации лишь показывают, в каких областях материал необходим, а в каких – нет, с точки зрения тех ограничений и целевой функции, которые были использованы [7].

### **Вывод**

Топологическая оптимизация позволяет с помощью МКЭ расчетов снижать массу и улучшать жесткостные характеристики конструкций. Начиная с 17 версии в ANSYS Workbench Mechanical включены широкие возможности по решению задач топологической оптимизации.

Оптимизация топологии - изменения в конструкции, включающие создание новых границ тела и удаление существующих. Целью топологической оптимизации является увеличение или уменьшение заданного свойства конструкции (например, уменьшение энергии деформации, увеличение главной собственной частоты) при удовлетворении определенных условий (например, снижение материалоемкости).

## Література

1. Електронний джерело: [<http://wordnewstrends.ru>]
2. Електронний джерело: [<https://cae-expert.ru>]
3. Електронний джерело: [<https://cae-club.ru>]
4. Електронний джерело: [<https://www.plm-ural.ru>]
5. Міжнародний науково-дослідницький журнал. Електронний джерело: [<https://research-journal.org>]
6. Центр інженерно-фізических розрахунків і аналізу. Електронний джерело: [<https://multiphysics.ru>]
7. Altair. Innovation Intelligence. Електронний джерело: [<http://innovationintelligence.com>]

УДК 123.321

## НАЙНЕЗВИЧАЙНІШІ ЦЕРКВИ СВІТУ

*Варук Р.Б., гр. А-302.*

*Науковий керівник – доцент Плахотна Н. А.*

Архітектура сьогодення у Україні, ставить особливі умови для створення церков. Вона несе обов'язок та будівлю, та відповідає основним традиціям тієї конфесії, до якої належатиме майбутня споруда. Типологія культових будівель і споруд визначається не лише архітектурно-планувальною організацією, а також режимом літургійного процесу. До прикладу домінуюче значення в інтер'єрі дерев'яної церкви є значна кількість прикрас з різноманітними видами різьблення. Таким чином, перед архітекторами стоїть досить складне завдання, адже церква - це не просто місце, де людина молиться чи хрестить дітей, а ця будівля вже давно стала символом віри, прихистком для страждених і джерелом сили для тих, хто збився зі шляху.

І в усьому світі дуже багато прикладів нешаблонного підходу до проектування церков. Одна дивує своїм способом будівництва, друга тим, що має нестандартну форму, а третя взагалі знаходиться під землею. Отож, перейдемо до найнезвичайніших церков нашої планети.

### **Боргуннська ставкірка**

Боргуннська ставкірка (норв. *Borgund stavkirke*) — одна з найдавніших збережених каркасних церков, розташована в селі Боргунн, Норвегія. Всього в країні було побудовано понад 1500