

УДК 004.855.5

Георгиев А. Ф., Никулин Д. С.*, Верзилин С. С., 2026.
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация
*E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

АЛГОРИТМ РАБОТЫ УТИЛИТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В MSC PATRAN/NASTRAN

Георгиев Александр Федорович, кандидат технических наук, доцент, факультет «Специальное машиностроение», кафедра «Аэрокосмические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Госпитальный переулок, д. 10, Москва, 105005, Российская Федерация.

E-mail: ageorgiev@bmstu.ru

Никулин Данил Сергеевич, выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана, факультет «Специальное машиностроение», кафедра «Аэрокосмические системы», Госпитальный переулок, д. 10, Москва, 105005, Российская Федерация.

E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

Верзилин Станислав Сергеевич, выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана, факультет «Специальное машиностроение», кафедра «Аэрокосмические системы», Госпитальный переулок, д. 10, Москва, 105005, Российская Федерация.

E-mail: verzilin_s@mail.ru

Статья посвящена описанию методики моделирования резьбовых соединений в программном пакете MSC Patran/Nastran. Описан алгоритм разработки утилиты на языке программирования Patran Command Language (PCL). В результате применения утилиты продемонстрировано сокращение времени моделирования.

Ключевые слова: Patran Command Language, PCL, утилита в MSC Patran, моделирование резьбовых соединений, метод конечного элемента, болтовое соединение в MSC Patran.

Георгиев А. Ф., Никулин Д. С., Верзилин С. С., 2026.
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Ресей Федерациясы
*E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

MSC PATRAN/NASTRAN-ДА БҰРАНДАЛЫ ҚОСЫЛЫСТАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН МОДЕЛЬДЕУГЕ АРНАЛҒАН УТИЛИТАНЫҢ ЖҰМЫС АЛГОРИТМІ

Георгиев Александр Федорович, техника ғылымдарының кандидаты, доценті. Н.Э. Бауман атындағы ММТУ "Арнайы машина жасау" факультеті, "Аэроғарыштық жүйелер" кафедрасы. Госпитальный түйік көшесі, 10 үй, Мәскеу, 105005, Ресей Федерациясы.

E-mail: ageorgiev@bmstu.ru

Никулин Данил Сергеевич, Н.Э. Бауман атындағы ММТУ түлегі, "Арнайы машина жасау" факультеті, "Аэроғарыштық жүйелер" кафедрасы, Госпитальный түйік көшесі, 10 үй, Мәскеу, 105005, Ресей Федерациясы.

E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

Верзилин Станислав Сергеевич, Н.Э. Бауман атындағы ММТУ түлегі, "Арнайы машина жасау" факультеті, "Аэроғарыштық жүйелер" кафедрасы, Госпитальный түйік көшесі, 10 үй, Мәскеу, 105005, Ресей Федерациясы.

E-mail: verzilin_s@mail.ru

Мақала MSC patran / Nastran бағдарламалық пакетіндегі бұрандалы қосылыстарды модельдеу әдістемесін сипаттауға арналған. Patran Command Language (PCL) бағдарламалау тілінде утилитаны әзірлеу алгоритмі сипатталған. Утилитаны қолдану нәтижесінде модельдеу уақытының қысқаруы көрсетілді.

Түйін сөздер: Patran Command Language, PCL, MSC patran-дағы утилита, бұрандалы қосылыстарды модельдеу, соңғы элемент әдісі, MSC Patran-дағы болт байланысы.

Georgiev A. F., Nikulin D. S., Verzilin S. S., 2026.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

*E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

THE ALGORITHM OF THE UTILITY FOR AUTOMATED MODELING OF THREADED CONNECTIONS IN MSC PATRAN/NASTRAN

Georgiev Alexander Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Special Mechanical Engineering, Department of Aerospace Systems, 10 Hospitalny Lane, Moscow, 105005, Russian Federation.

E-mail: ageorgiev@bmstu.ru

Nikulin Danil Sergeevich, Graduate of Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Special Mechanical Engineering, Department of Aerospace Systems, 10 Hospitalny Lane, Moscow, 105005, Russian Federation.

E-mail: dan.nikulin279@gmail.com

Verzilin Stanislav Sergeevich, Graduate of Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Special Mechanical Engineering, Department of Aerospace Systems, 10 Hospitalny Lane, Moscow, 105005, Russian Federation.

E-mail: verzilin_s@mail.ru

The article describes the methodology for modeling threaded connections in the MSC Patran/Nastran software package. An algorithm for developing a utility in the Patran Command Language (PCL) programming language is described. As a result of using the utility, a reduction in simulation time has been demonstrated.

Keywords: Patran Command Language, PCL, utility in MSC Patran, threaded connection modeling, finite element method, bolted connection in MSC Patran.

Введение

Резьбовые соединения стали неотъемлемой частью современных изделий во всех отраслях промышленности. Число соединений в изделии может достигать сотен или даже тысяч. Для всех типов соединений существует риск разрушения. Резьбовые соединения не являются исключением. Поэтому высокое значение имеет задача моделирования [1] болтовых и винтовых соединений, особенно для трубопроводов, пневматических и гидравлических систем [2], где требуется обеспечить герметичность, рисунок 1.



Рисунок 1 – Использование резьбовых соединений в трубопроводах

Для увеличения производительности труда инженеров при выполнении расчетов и моделировании разработана утилита для автоматизации процесса создания резьбовых соединений в программном пакете MSC Patran/Nastran.

Цель работы – представить описание алгоритмов, заложенных в дополнительную утилиту (модуль) к программе конечно-элементного моделирования (КЭМ) MSC Patran/Nastran.

Практическое применение утилиты в инженерных расчетах сократит время выполнения расчетов в 6 раз.

Объект моделирования

В работе рассматривается три основных вида резьбовых соединений, показанных на рисунке 2: шпильчатое, болтовое и винтовые соединения.

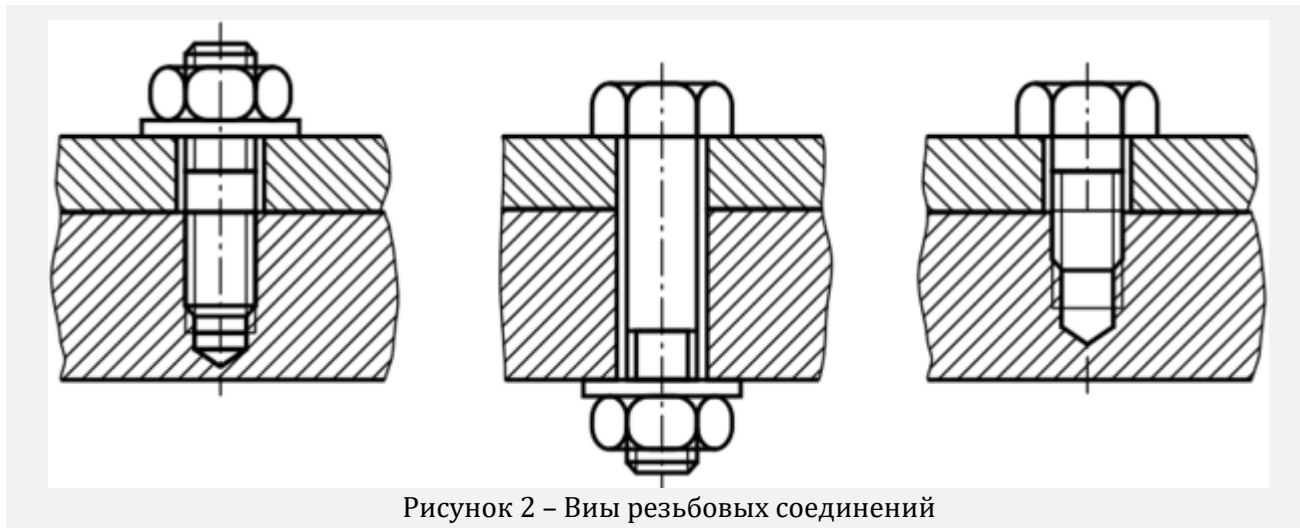


Рисунок 2 – Виды резьбовых соединений

Согласно [3], как правило, раньше разрушается болт, а не гайка. В MSC Patran/Nastran крепежные элементы создаются с помощью объекта *Connector* типа *Fastener* [4]. При таком моделировании накладывается условие на более высокую жесткость соединения, по сравнению со всей конструкцией. Алгоритм разработанной утилиты уже содержит требование учитывать это явление.

Принятые допущения

Для моделирования болтовых и винтовых соединений выбран 1D элемент типа *Beam* [5]. Это позволяет определять изгибные напряжения крепежного элемента. Ниже приводятся допущения, принятые при моделировании:

- недеформируемость отверстий соединяемых деталей (вся нагрузка распределяется на стержень крепежного элемента, что увеличивает запас при расчете прочности самого болта или винта);
- жесткая связь крепежного элемента с деталью (гайка, головка болта в случае болтового соединения и головка винта в случае винтового соединения принимаются недеформируемыми и абсолютно жесткими).

В результате расчетов напряжения возможно определить только в 1D *Beam* элементах, то есть в самом стержне крепежного элемента.

Методика моделирования

Методика основана на методе предложенном в [6].

В первую очередь создается геометрия стержня крепежного элемента. С помощью опции *Create/Point/Arccenter* создаются две точки *Point 1* и *Point 2* на основе кривых *Edge 1* и *Edge 2* соответственно. Далее с помощью опции *Create/Curve* создается прямая *Curve 1* на основе выбора, созданных точек *Point 1* и *Point 2*, рисунок 3.

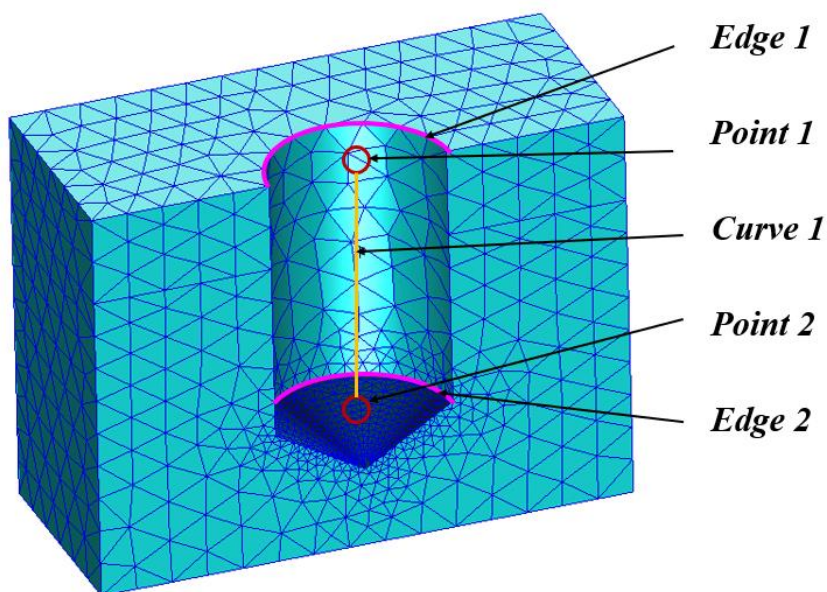


Рисунок 3 – Создание геометрии для стержня болта или винта

На следующем этапе создаются списки узлов КЭ сетки, ассоциированных с внутренними цилиндрическими поверхностями каждой детали *Face 1* и *Face 2*. Если моделируется соединение с зазором, то в качестве объектов, на основе которых создаются списки узлов, выбирается *Edge 1* и *Edge 2*. Важно, что в этом случае выбирается вся кромка отверстия для каждой из деталей. Схема приведена на рисунке 4.

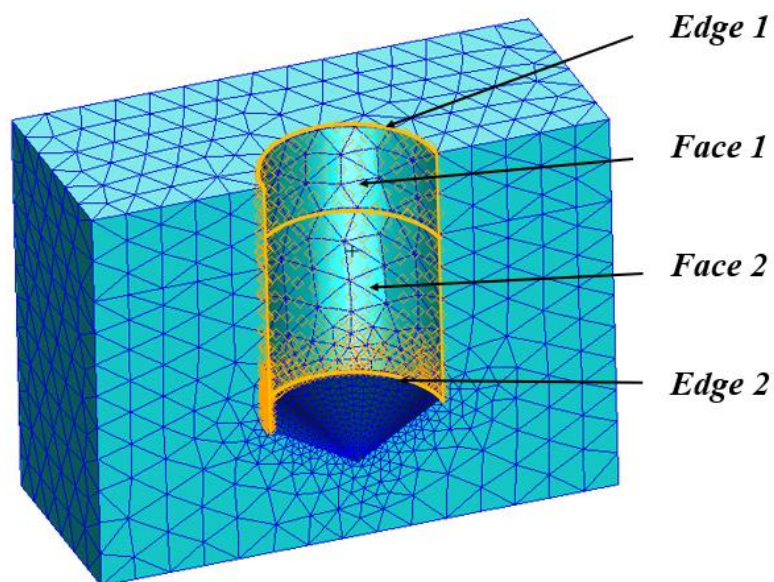


Рисунок 4 – Выбор поверхностей для создания списков узлов

На основе созданных списков узлов и принятых допущений создаются элементы *MPC1* и *MPC2* типа *RBE2*. Тип *RBE2* выбирается из допущения об абсолютной жесткости и недеформируемости торцов. Схема показана на рисунке 5.

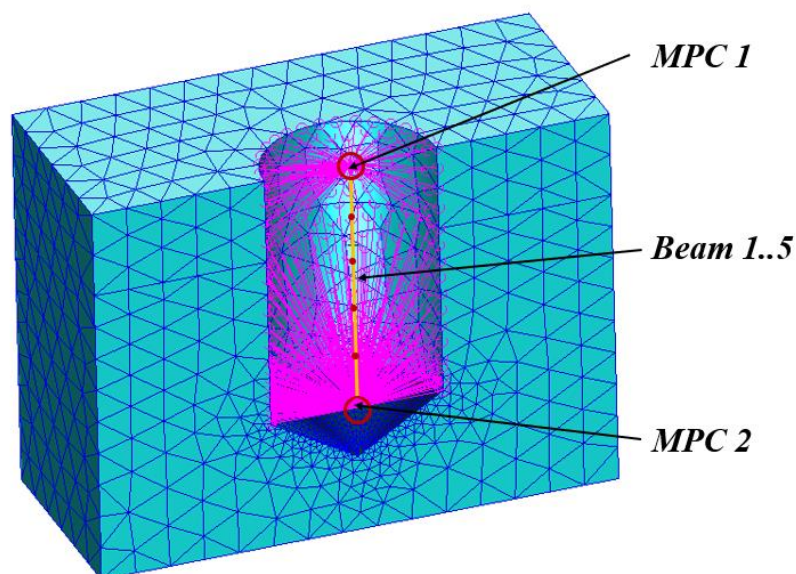


Рисунок 5 – Создание MPC элементов

Общая схема резьбового соединения приведена на рисунке 6. Модель включает в себя 1D элементы типа Beam и две жесткие связи MPC1 и MPC2 типа RBE2.

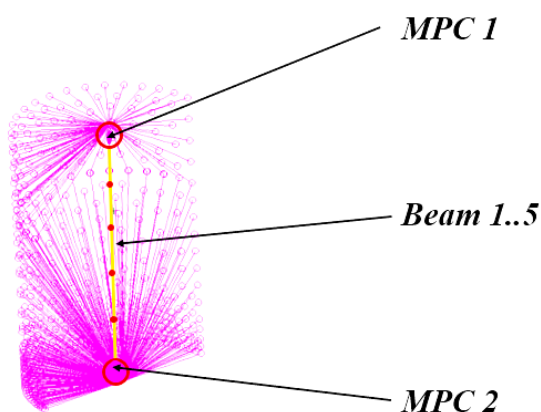


Рисунок 6 – Общая схема болтового или винтового соединения

Алгоритм работы утилиты

Моделирование болтовых и винтовых соединений требует выполнения однообразных действий. Использование утилиты упрощает и ускоряет процесс создания конечно-элементной модели крепежных соединений.

Для написания утилиты использован специальный язык программирования MSC Patran – Patran Command Language (PCL), который уже содержит стандартные функции [7,8] для программной разработки утилит, позволяющих автоматизировать выполнение различных задач. Сам язык построен с применением принципов объектно-ориентированного программирования (ООП) – создаются классы и функции, которые применяются к конкретным объектам.

Для корректной работы утилиты и удобной работы с ней создается два класса: *CLASS form_create_bolts* – в нем содержится основной программный код утилиты, *CLASS bolts* – добавляет разработанную утилиту в основное меню MSC Patran. Для корректной работы утилиты важно,

чтобы созданные классы находились в корневой папке MSC Patran или оставались в рабочей папке, в которой пользователь работает с моделью.

На основании методики моделирования было принято, что для сведения затрат по моделированию резьбовых соединений к минимуму требуется выбрать 4 объекта. *Edge 1, Edge 2, Face 1, Face 2*, а также установить значение *Number of Elements* – количество *Beam*-элементов, на которые будет разбита прямая *Curve 1* и указать наименование группы *Group Name*, в которую будут помещены элементы, созданные в результате работы утилиты. Важно отметить, что это группа должна быть заранее создана пользователем во вкладке *Group/Create*. Для удобства работы и отображения результатов рекомендуется создавать отдельную группу для каждого диаметра резьбовых соединений в конструкции.

Интерфейс утилиты показан на рисунке 7.

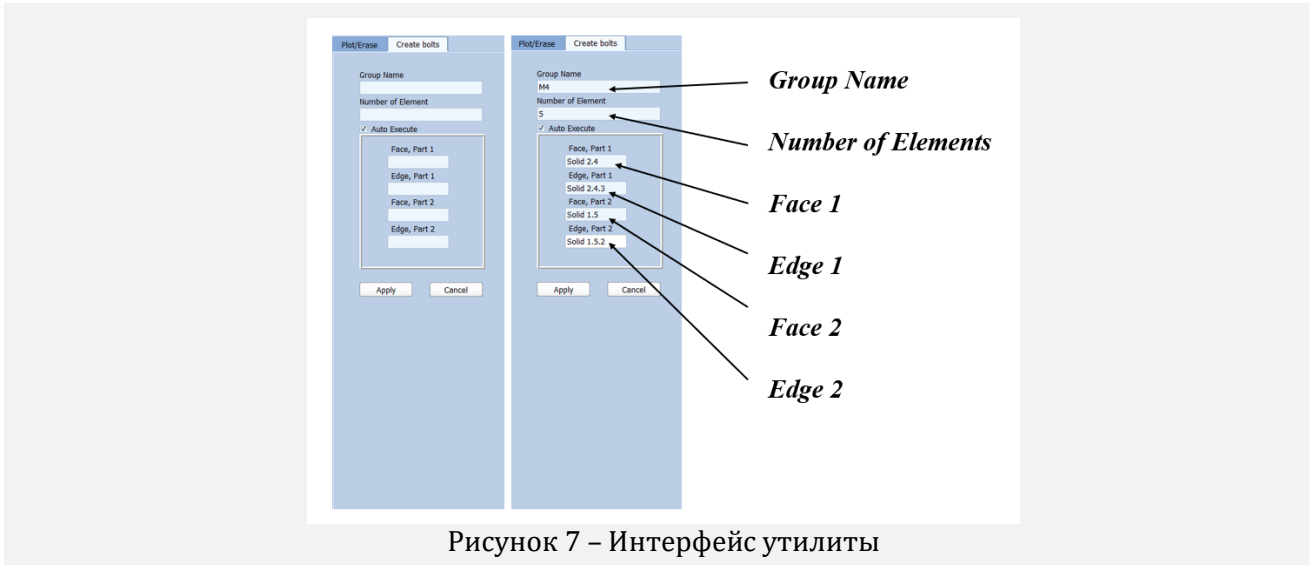


Рисунок 7 – Интерфейс утилиты

Поля ввода содержат внутренние программные ограничения, которые были добавлены при разработке утилиты. Ограничения сразу позволяют пользователю выбирать необходимые геометрические примитивы. Расширение *MESH_SWEEP* позволяет выбирать объекты типа *Face* и *Edge*. Это особенно важно при моделировании резьбовых соединений разных типов.

На рисунке 8 приводится схема алгоритма работы утилиты.

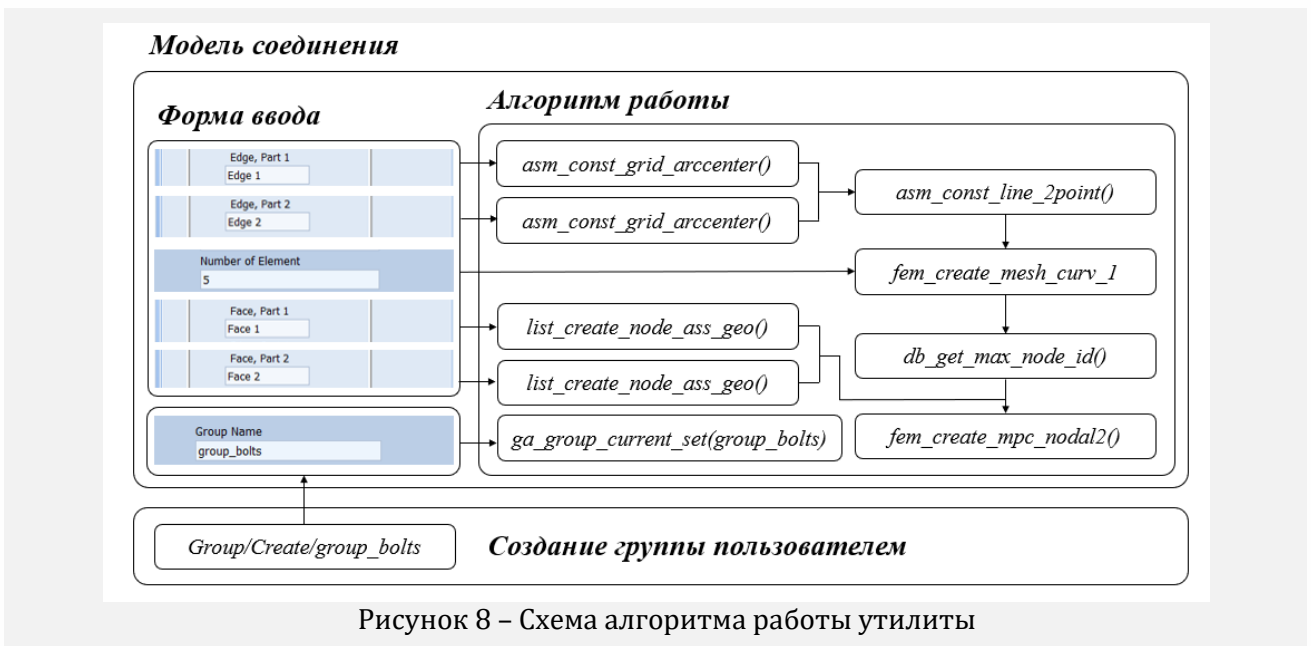


Рисунок 8 – Схема алгоритма работы утилиты

Заключение

В рамках системы автоматизированного проектирования MSC Patran была разработана специализированная утилита, реализующая рассмотренные методику и алгоритм моделирования резьбовых соединений. Ключевым преимуществом описанной утилиты является возможность создания конечно-элементных моделей крепежа для деталей, представленных как объемными, так и поверхностными КЭ.

Апробация утилиты выполнена на примере создания расчетной КЭ-модели типового фланцевого соединения трубопровода (Flange 1, Flange 2), широко распространенного в технике (рисунок 9). Внедрение методики позволило сократить трудоемкость процесса моделирования: время разработки КЭ-модели уменьшилось в 6 раз – с 1 часа до 10 минут.

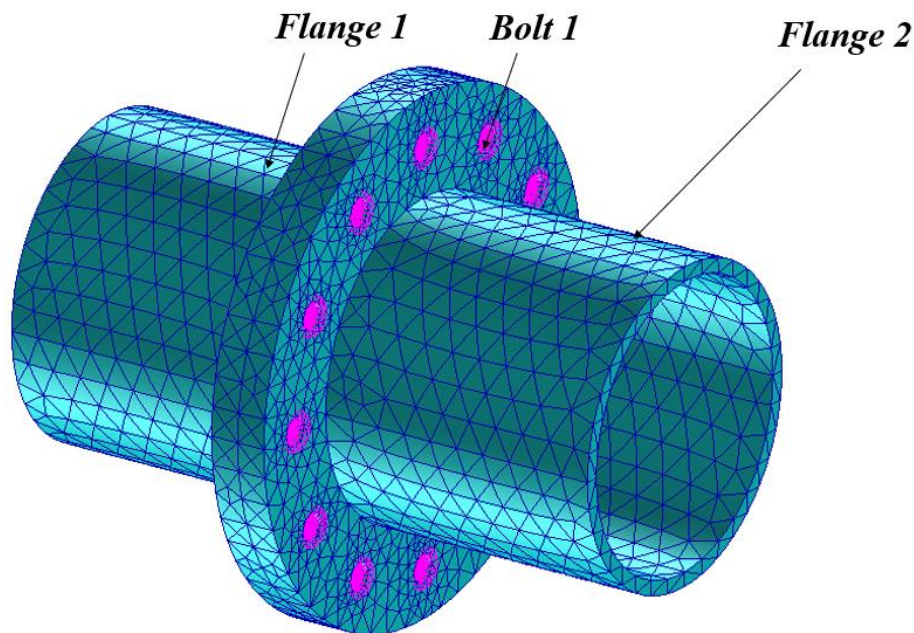


Рисунок 9 – Общий вид фланцевого соединения с крепежными элементами

Таким образом, автоматизация процесса моделирования резьбовых соединений посредством разработанной утилиты способствует значительному повышению эффективности проектно-конструкторских работ. Сокращение временных затрат открывает возможность для анализа большего числа конструктивных альтернатив на стадии проектирования, что в конечном итоге ведет к оптимизации массогабаритных характеристик и повышению надежности разрабатываемых изделий.

Литература

- 1 Vilela P. M. L., Carvalho H., Filhob O. T. B. Numerical simulation of bolted connections. Latin American Journal of Solids and Structures, № 15, 2018, 15 p.
- 2 Шатров А.К., Назарова Л.П., Машуков А.В. Механические устройства космических аппаратов. Конструктивные решения и динамические характеристики. Красноярск, СибГАУ, 2006, 84 с.
- 3 Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. Москва, Машиностроение, 1979, 639 с.
- 4 MSC PATRAN Quick User Guide.
- 5 MSC/NASTRAN 120 Exercise Workbook – Version 70 (MSC/PATRAN 7.5)
- 6 Титаренко Ф.В. Оптимальная расчетная конечно-элементная модель. Способы соединения частей КЭ модели: журнал CADMASTER №1, 2021.– 6 с.
- 7 PATRAN 2021.2 PCL and Customization.
- 8 PATRAN 2021.4 PCL Reference Manual. Vol. 1: Function Descriptions.

- 9 PATRAN 2020 PCL Reference Manual. Vol. 2: Code Examples.
- 10 PATRAN 304 Exercise Workbook. Properties Form. EXERCISE 14.
- 11 PATRAN 304 Exercise Workbook. Mesh Lug Model. EXERCISE 5.

References

- 1 Vilela P. M. L., Carvalho H., Filhob O. T. B. Numerical simulation of bolted connections. Latin American Journal of Solids and Structures, № 15, 2018, 15 p.
- 2 Shatrov A.K., Nazarova L.P., Mashukov A.V. Mekhanicheskie ustroystva kosmicheskikh apparatov. Konstruktivnye resheniya i dinamicheskie kharakteristiki [Mechanical devices of spacecraft. Design solutions and dynamic characteristics]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2006, 84 p. [in Russian].
- 3 Birger I.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B. Raschet na prochnost detaley mashin [Strength calculation of the machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979, 639 p. [in Russian].
- 4 MSC PATRAN Quick User Guide.
- 5 MSC/NASTRAN 120 Exercise Workbook - Version 70 (MSC/PATRAN 7.5)
- 6 Titarenko F.V. The optimal computational finite element model. Ways to connect parts of the CE model: CADMASTER magazine No. 1, 2021. [in Russian].
- 7 PATRAN 2021.2 PCL and Customization.
- 8 PATRAN 2021.4 PCL Reference Manual. Vol. 1: Function Descriptions.
- 9 PATRAN 2020 PCL Reference Manual. Vol. 2: Code Examples.
- 10 PATRAN 304 Exercise Workbook. Properties Form. EXERCISE 14.
- 11 PATRAN 304 Exercise Workbook. Mesh Lug Model. EXERCISE 5.