

УДК 519.6
DOI 10.53403/9785951505071_2022_111

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ИМПОРТА ВНЕШНИХ НАГРУЗОК В РАСЧЕТНУЮ МОДЕЛЬ ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ, РЕАЛИЗОВАННОЕ В РАМКАХ ПРЕПОСТПРОЦЕССОРА ПАКЕТА ПРОГРАММ «ЛОГОС»

А. В. Гордеев, В. Н. Дюпин, А. Ю. Еременко, Н. А. Мустаева, А. С. Санталов

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров

В докладе представлено описание программного средства импорта внешних нагрузок в расчетную модель «ЛОГОС-Прочность», реализованного в рамках препостпроцессора «ЛОГОС-Препост», входящего в состав пакета программ «ЛОГОС».

Ключевые слова: ЛОГОС, препостпроцессор, ЛОГОС-Препост, прочностная модель, импорт внешних нагрузок.

Доклад посвящен программному средству импорта внешних нагрузок в расчетную модель «ЛОГОС-Прочность», реализованному в рамках развития препостпроцессора «ЛОГОС-Препост» пакета программ «ЛОГОС».

Пакет программ «ЛОГОС» является отечественным многофункциональным пакетом программ, разработанным для инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования. Препостпроцессор «ЛОГОС-Препост» пакета программ «ЛОГОС» является программным комплексом для задания начальных, граничных условий расчетных задач и анализа результатов моделирования.

Программное средство задания внешних нагрузок решает задачу переноса внешних нагрузок на прочностную модель. Источником данных по внешним нагрузкам может являться как коммерческое программное обеспечение (КПО, например, PATRAN), так и программные модули пакета программ «ЛОГОС» (например, ЛОГОС-ТМП). Источники внешних нагрузок осуществляют расчет нагрузок, которые используются в гармоническом анализе в рамках программного модуля «ЛОГОС-ПА». Результаты гармонического анализа используются для расчета влияния гидродинамической модели на прочностную конструкцию. При расчете влияния гидродинамической модели на прочностную конструкцию осуществляется интерполяция сеточных данных на прочностную конструкцию. Результаты интерполяции формируют поле (физический объект, описываемый математическим скалярным или векторным полем). Сформированное поле используется в прочностном расчете.

При разработки программного средства импорта внешних нагрузок были сформулированы требования к программному средству:

- создание программного средства импорта внешних нагрузок;
- создание препроцессора программного средства для импорта сеточных данных гидродинамики;
- создание постпроцессора программного средства для интерполяции сеточных данных на прочностную модель;
- создание алгоритмов для визуализации импортируемых данных;
- интеграция внешних нагрузок в объектную модель «ЛОГОС-Прочность»;
- использование полей для задания прочностной модели.

При проектировании программного средства задания внешних нагрузок был проведен анализ функциональных возможностей коммерческого программного обеспечения «PATRAN» [1]. По ре-

зультату анализа была спроектирована архитектура программного средства и разработан план полного цикла процесса импорта внешних нагрузок.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия программного средства с компонентами препроцессора «ЛОГОС-Препост».

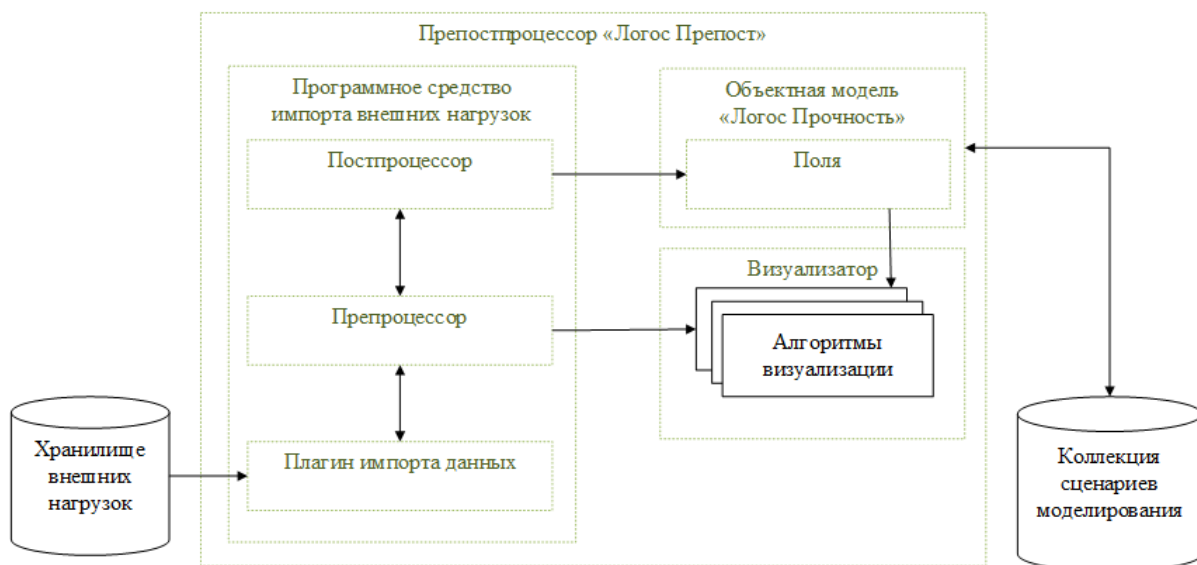


Рис. 1. Схема взаимодействия программного средства импорта внешних нагрузок с компонентами препроцессора «ЛОГОС-Препост»

Программное средство импорта внешних нагрузок включает:

- плагин импорта данных;
- препроцессор;
- постпроцессор.

Препроцессор программного средства осуществляет ввод исходных данных для создания нового поля в объектной модели «ЛОГОС-Прочность» и визуализирует сеточные данные внешних файлов.

Постпроцессор программного средства осуществляет интерполяцию расчетных величин с внешних сеток на целевой набор данных, создает новый экземпляр поля в объектной модели «ЛОГОС-Прочность» и осуществляет визуализацию полученного поля.

Программное средство осуществляет взаимодействие с хранилищем внешних нагрузок, объектной моделью «ЛОГОС-Прочность» и визуализатором.

Взаимодействие программного средства со счетным модулем обеспечивается путем экспорта файлов модели «ЛОГОС-Прочность».

Полный цикл импорта внешних нагрузок включает этапы:

- создания прототипа нового экземпляра поля;
- выбора сеточных данных для наложения поля;
- импорта внешних сеточных данных;
- интерполяции сеточных данных;
- визуализации результатов интерполяции данных;
- создания нового экземпляра поля;
- задания полей на начальных и граничных условиях.

На начальном этапе препроцессор программного средства собирает данные для создания нового поля и передает плагину импорта данных полный путь до внешнего файла, который содержит сеточные данные нагрузки. Файлы внешних нагрузок формируются по результатам расчета смежных задач гидродинамики, аэродинамики и прочих методик.

Плагин импорта данных поддерживает методы для загрузки бинарных и текстовых форматов внешних данных:

- бинарный формат CGNS – формат хранения расчетных сеток и информации о нагрузке прочностной модели. Формат используется в коммерческом пакете «PATRAN»;
- бинарный формат EFR – формат хранения данных постобработки расчетной модели. Формат используется в программном комплексе Scientific View, который входит в пакет программ «ЛОГОС»;
- текстовый формат CSV – промежуточный формат хранения данных. Формат используется для обеспечения совместимости с расчетными модулями, которые не поддерживают форматы выходных данных CGNS и EFR.

Алгоритм импорта внешних данных заключается в определении числа временных шагов, загрузке узлов расчетной сетки из хранилища временных нагрузок и итерационной загрузке сеточных данных для заданного расчетного шага.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма загрузки внешних данных.

Для оптимизации размещения сеточных данных в оперативной памяти в рамках программного средства был реализован алгоритм отложенной загрузки. Согласно реализованному алгоритму, на этапе пробега по временным шагам постпроцессор программного средства вызывает препроцессор и перезагружает сеточные данные.

Постпроцессор программного средства использует результаты препроцессора для формирования нового экземпляра поля в объектной модели «ЛОГОС-Прочность». Интеграция программного средства импорта внешних нагрузок в объектную модель «ЛОГОС-Прочность» осуществлялась путем регистрации нового элемента «Поля» в разделе «Функциональные зависимости» объектной модели «ЛОГОС-Прочность». Процесс регистрации нового элемента объектной модели сводится к описанию структуры объекта в конфигурационных файлах препроцессора «ЛОГОС-Препост» [2].

На рис. 3 представлена логическая структура данных программного средства.

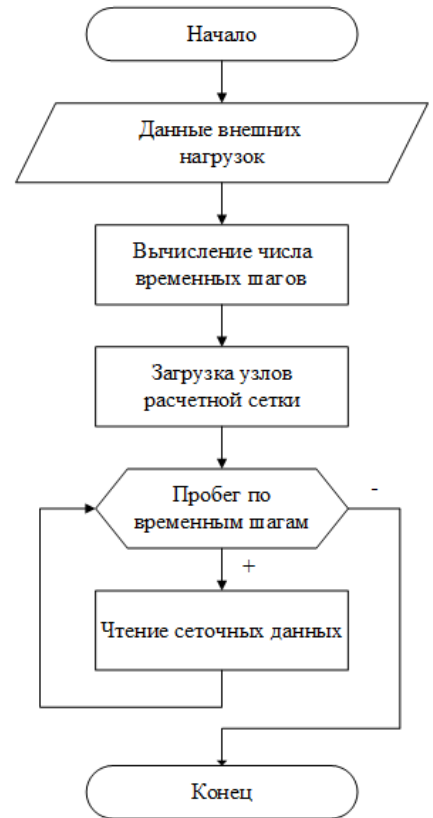


Рис. 2. Алгоритм импорта внешних нагрузок

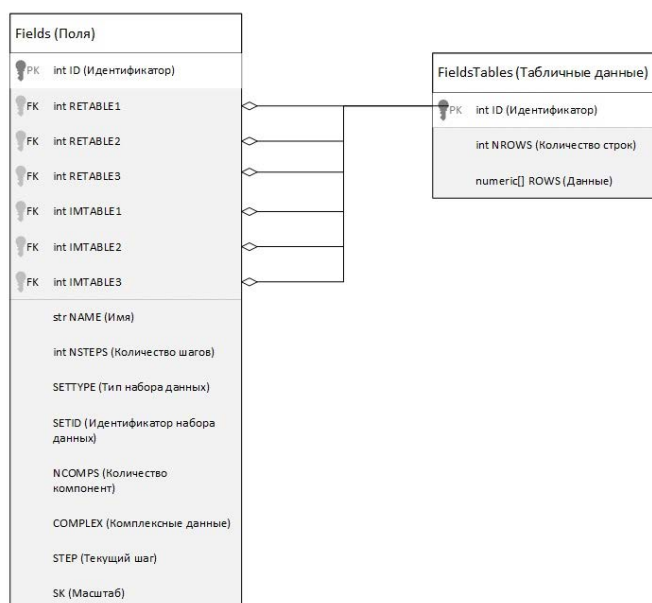


Рис. 3. Логическая структура данных программного средства

Структура Fields – описывает экземпляры полей:

- ID – идентификатор поля;
- NAME – название поля;
- SETTYPE – целевой набор данных (узлов, граней, элементов);
- SETID – идентификатор целевого набора данных;
- RETABLE1..3, IMTABLE1..3 – внешние ключи на данные поля;
- диагностические данные.

Структура FieldsTables – описывает экземпляры сеточных данных поля:

- ID – идентификатор набора данных;
- ROWS – массив сеточных данных.

Для оптимизации размещения сеточных данных в поле наиболее ресурсоемкие данные были перенесены в отдельный экземпляр объекта «Табличные данные». Связь данных между объектом «Поля» и «Табличные данные» осуществляется по внешним ключам «RETABLE1», «RETABLE2», «RETABLE3», «IMTABLE1», «IMTABLE2», «IMTABLE3».

Алгоритм расчета сеточных величин сводится к интерполяции внешних нагрузок на целевой набор данных поля. Интерполяция осуществляется методом «Максимальное расстояние» [3]. Метод максимального расстояния заключается в построении графа, объединяющего узлы внешнего набора данных с узлами целевого набора данных поля. Постпроцессор программного средства поддерживает 2 метода ограничения на построение ребер графа:

- ограничение на максимальное расстояние между узлами сеток;
- ограничение на максимальное количество узлов, объединенных с узлом внешней сетки.

Для оптимизации процесса интерполяции сеточных данных препроцессор осуществляет предварительный расчет весов W_i , где i – номер узла поля, d_j – расстояние от j -того узла внешней сетки до i -того узла поля (1).

$$W_i = \frac{1/a_i}{\sum_{j=1}^N 1/a_j}. \quad (1)$$

Расчет интерполяционного значения P для i -того узла поля вычисляется по формуле (2) как сумма произведения весов W_j на величину внешней нагрузки для j -того узла P_j [4].

$$P = \sum_{j=1}^N W_j P_j. \quad (2)$$

Для визуализации полученных полей постпроцессор программного средства передает визуализатору информацию о созданном поле и дополнительную информацию, содержащую параметры настройки отображения поля.

Модуль визуализации включает библиотеку алгоритмов отображения расчетных сеток и сеточных данных и поддерживает возможность послойного отображения данных. В рамках работ по созданию программного средства импорта внешних нагрузок в библиотеку алгоритмов визуализации были добавлены методы отображения:

- скалярных и векторных данных внешних расчетных сеток;
- полей с сеточными данными;
- графа связей между сеточными данными;
- раскраски сеточных данных.

На рис. 4,а показан пример отображения скалярного поля на фрагменте расчетной сетки цилиндрической формы. На рис. 4,б продемонстрирован результат визуализации векторного поля на фрагменте расчетной сетки прямоугольной формы.

Препостпроцессор «ЛОГОС-Препост» содержит ряд встроенных средств для реализации быстрой интеграции связей между данными объектной модели. Например, для поддержки полей в разделе объектной модели «Нагрузки | Механика | Давление» был добавлен новый элемент «Давление, заданное полем». Связь нового элемента с объектом «Поля» осуществляется с помощью встроенных средств выборки данных препостпроцессора «ЛОГОС-Препост».

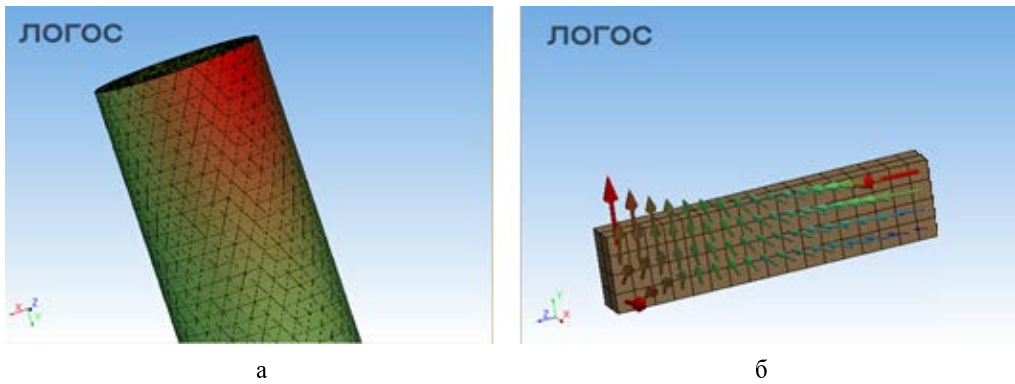


Рис. 4. Визуализация внешних нагрузок

С 2019 года программное средство стало активно использоваться в методических и производственных расчетах.

Литература

1. PATRAN User Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://simcompanion.mssoftware.com/infocenter/index?page=content&id=DOC10145> (дата обращения: 13.01.2020).
2. Анищенко А. А., Дерюгин В. И., Дюпин В. Н., Иванов К. В., Санталов А. С., Санталова Е. Е. ПреПостПроцессор ЛОГОС-ПреПост. Архитектура уровня бизнес-логики, хранение, импорт и экспорт данных // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2014. Том, № 2. С. 78.
3. Шарый С. П. Курс вычислительных методов. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2019.
4. Зенков А. В. Численные методы: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016.

SOFTWARE TOOL TO IMPORT EXTERNAL LOADS INTO “LOGOS-SA” COMPUTATIONAL MODEL REALIZED WITHIN PREPOSTPROCESSOR OF “LOGOS” SOFTWARE PACKAGE

A. V. Gordeev, V. N. Dyupin, A. Yu. Eremenko, N. A. Mustaeva, A. S. Santalov

Russian Federal Nuclear Center –
All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics, Sarov

The paper describes a software tool of import external loads into the LOGOS-SA simulation model realized within prepostprocessor LOGOS Prepost, which is a part of “LOGOS” software package.

Key words: LOGOS, prepostprocessor, LOGOS Prepost, strength model, import of external loads.