

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО МЕХАНИЧЕСКОМУ НАГРУЖЕНИЮ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ НА СТЕНДЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПАКЕТА ПРОГРАММ ЛОГОС

А. Е. Павлунина, С. М. Герцик, С. А. Краюхин

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

Введение

На сегодняшний день использование современных систем автоматизированного инженерного анализа является наиболее эффективным способом оценки прочности, прогнозирования долговечности и оптимизации конструкций. Это связано с известными преимуществами этих методов перед натурным экспериментом, быстрым развитием средств вычислительной техники и её математического обеспечения, а также с совершенствованием существующих и разработкой новых численных методов.

В настоящее время во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ведется разработка пакета программ (ПП) численного моделирования ЛОГОС [1]. Развитие данного пакета особенно актуально в свете санкционной политики ряда государств в отношении России и в рамках программы импортозамещения. Данный пакет позволяет моделировать задачи аэрогидромеханики, теплопроводности, модального анализа и прочности, в т.ч. задачи высокоскоростного и низкоскоростного удара.

В рамках данной работы ПП ЛОГОС применяется для моделирования механического поведения элементов оснастки испытательной установки и га-

баритно-весового макета прибора (объекта исследования – ОИ) при высокоинтенсивном нагружении.

Цель и объект исследования

Для испытания некоторых приборов и узлов на действие интенсивных механических нагрузок применяется стенд динамических испытаний (СДИ)[2], состоящий из контейнера с установленным в него объектом исследования и разгонного устройства, выполненного на основе короткоствольной пороховой баллистической установки.

Объектом исследования (ОИ) является габаритно-весовой макет прибора. ОИ оснащен ударостойким регистратором ускорений АПРУУ[3].

Механическое нагружение ОИ осуществляется в процессе разгона контейнера в стволе разгонного устройства СДИ под действием давления пороховых газов на торец штока, обеспечивающего параметры виброударного режима нагружения ОИ. После выхода из ствола разгонного устройства контейнер с ОИ скользит по рельсовой направляющей и тормозится под действием сил трения и аэродинамического сопротивления. Схема контейнера для случая осевого нагружения ОИ представлена на рис. 1.

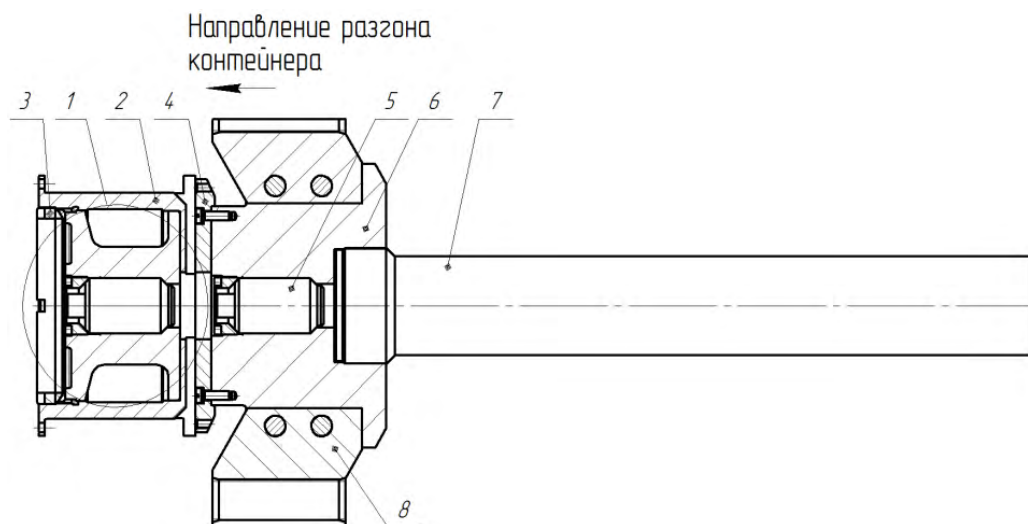


Рис. 1. Схема контейнера: 1 – ОИ; 2 – корпус; 3 – кольцо; 4 – плита; 5 – датчик ускорений; 6 – основание; 7 – шток; 8 – башмак

Целью работы является моделирование опыта на СДИ в ПП ЛОГОС.

Основные задачи: прогноз напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов оснастки испытательной установки, определение ускорений ОИ, сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.

Рассматриваются осевой и боковой варианты нагружения ОИ.

Построение расчетных моделей

Геометрические и конечно-элементные модели части контейнера с ОИ в испытательной оснастке для случаев осевого и бокового нагружения представлены на рис. 2.

Для экономии вычислительных ресурсов датчик ускорений (5), шток (7) и башмак (8) (см. рис. 1) не моделируются.

При построении расчетных моделей применяются гексаэдрические и тетраэдрические линейные конечные элементы с одной точкой интегрирования. Общая размерность задачи составляет 213 585 элементов сплошной среды (осевое нагружение) и 639 329 элементов сплошной среды (боковое нагружение).

Для расчета НДС конструкции используются билинейные упругопластические модели материалов с изотропным упрочнением.

Резьбовые соединения, а также крепление разъемов на крышке моделируются контактом типа «склейка». Для описания взаимодействия остальных элементов конструкции между собой в расчете используется автоматический контакт.

Задача решается в лагранжевой постановке с применением явной схемы интегрирования по времени.

В качестве начальных условий принята экспериментальная зависимость ускорения от времени, которая в расчетной модели задается вузлах торца основания.

В силу симметрии конструкции и нагрузок рассматривается половина модели с приложением соответствующих граничных условий на плоскости симметрии.

В расчетах учитывается затяжка резьбового кольца, которое фиксирует ОИ в корпусе. Для этого применяется специальный механизм получения предварительного НДС, реализованный в ЛОГОС, именуемый динамическая релаксация. Для получения НДС конструкции с учетом затяжки резьбовое кольцо смещается вглубь детали, с которой она не-

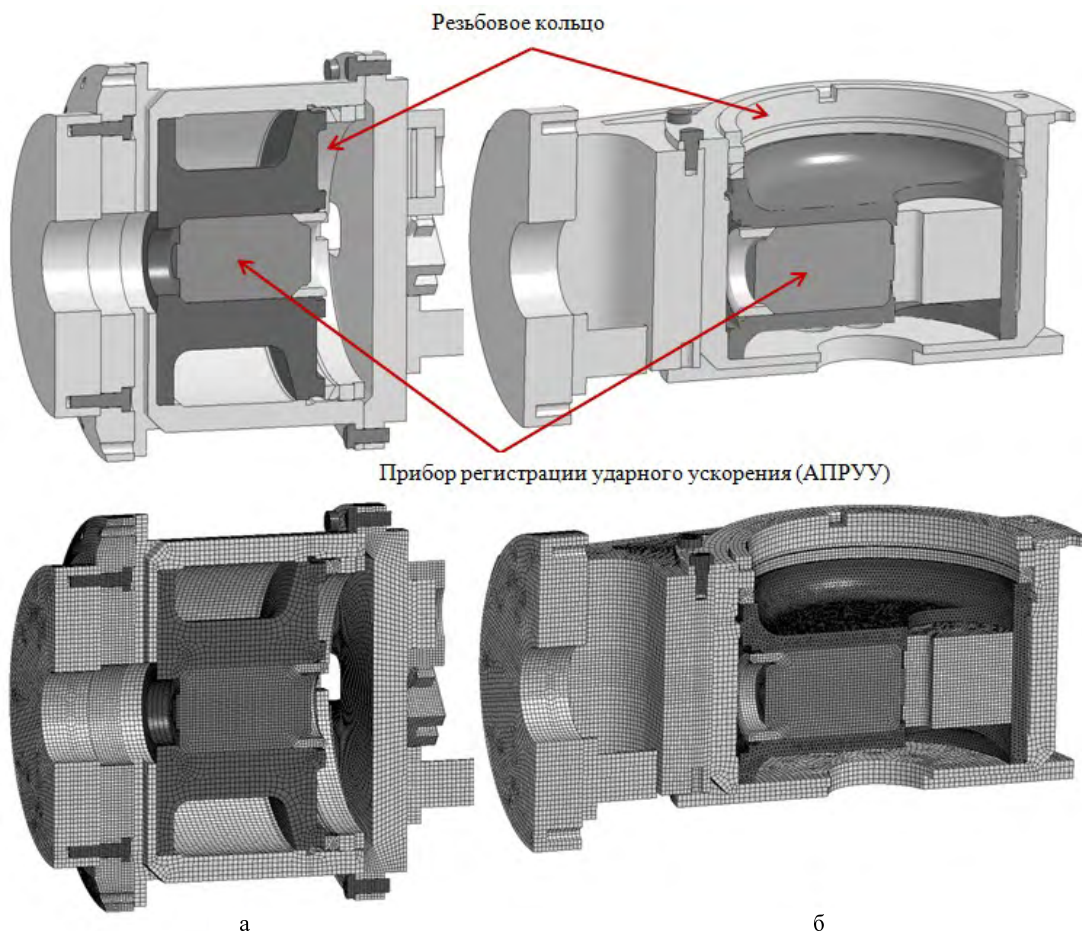


Рис. 2. Геометрические и конечно-элементные модели части контейнера с ОИ в испытательной оснастке: а – для осевого нагружения; б – для бокового нагружения

посредственно контактирует при затяжке. На этапе динамической релаксации к контактирующим поверхностям прикладывается контактная сила, зависящая от величины взаимопроникания деталей и времени, также на каждом шаге по времени узловы скорости всех частей модели умножаются на коэффициент меньше единицы, что приводит к затуханию возможных колебаний. Когда максимальное изменение узловых скоростей относительно предыдущего шага становится меньше критерия сходимости, считается, что в конструкции достигается статическое равновесие и на этом этап динамической релаксации завершается. Полученное НДС является исходным для дальнейшего расчета.

Результаты расчета при осевом нагружении объекта исследования, сравнение с экспериментом

На рис. 3 представлены графики зависимости ускорения от времени центра масс регистратора АПРУУ, полученные в расчете и эксперименте.

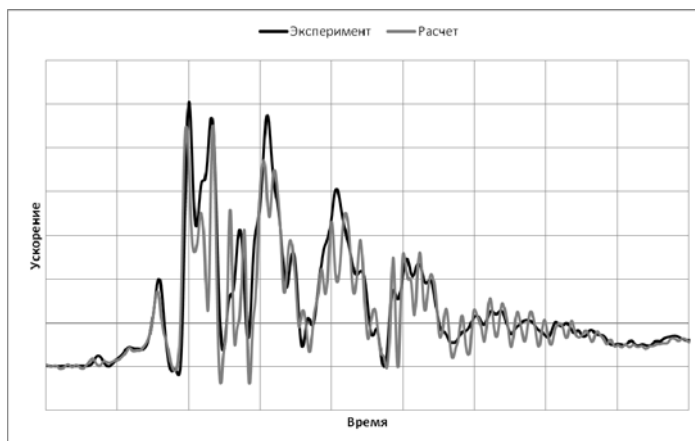


Рис. 3. Графики зависимости ускорения от времени центра масс АПРУУ (осевое нагружение ОИ)

Из рис. 3 видно, что экспериментальный и расчетный графики ускорений качественно хорошо согласуются, различие по максимальным значениям ускорения, полученным в расчете и эксперименте, составляет ~9 %.

На рис. 4 представлены результаты расчета НДС испытательной оснастки при нагружении ОИ в осевом направлении в виде полей эквивалентных по Мизесу напряжений в момент экстремального НДС конструкции. Напряжения в конструкции не превышают предела прочности материала В95, который является наименее прочным материалом в конструкции.

Результаты расчета при боковом нагружении объекта исследования, сравнение с экспериментом

На рис. 5 представлены графики зависимости ускорения от времени центра масс регистратора АПРУУ, полученные в расчете и эксперименте.

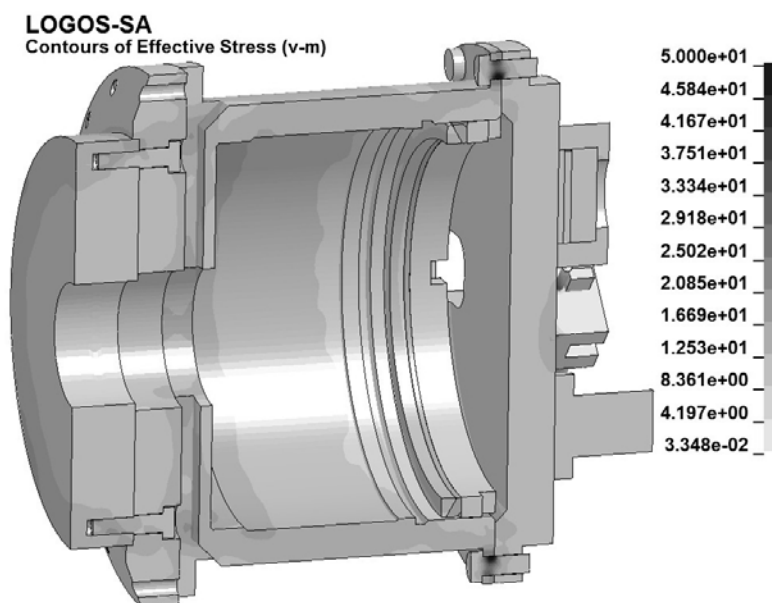


Рис. 4. Поля эквивалентных по Мизесу напряжений ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) в испытательной оснастке (осевое нагружение ОИ)

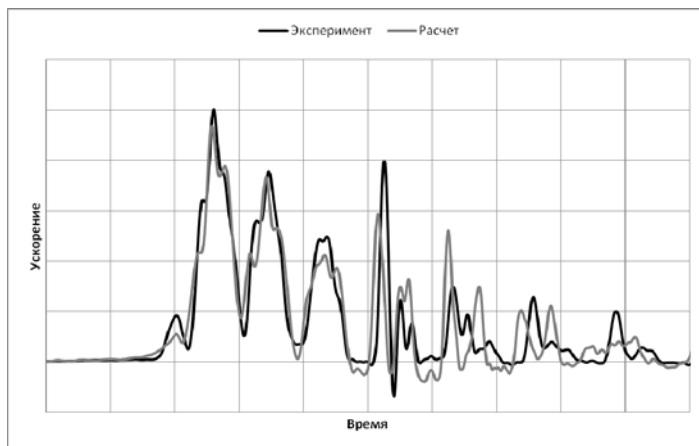


Рис. 5. Графики зависимости ускорения от времени центра масс АПРУУ (боковое нагружение ОИ)

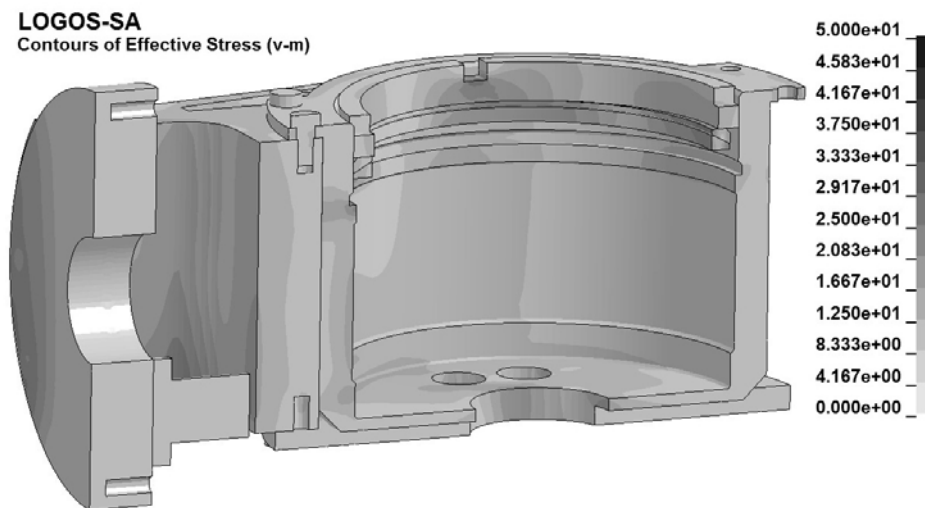


Рис. 6. Поля эквивалентных по Мизесу напряжений ($\text{кгс}/\text{мм}^2$) в испытательной оснастке (боковое нагружение ОИ)

Из рис. 5 видно, что экспериментальный и расчетный графики ускорений качественно хорошо согласуются, различие по максимальным значениям ускорения, полученным в расчете и эксперименте, составляет $\sim 6\%$.

На рис. 6 представлены результаты расчета НДС испытательной оснастки при нагружении ОИ в боковом направлении в виде полей эквивалентных по Мизесу напряжений в момент экстремального НДС конструкции. Напряжения в конструкции не превышают предела прочности материала В95, который является наименее прочным материалом в конструкции.

Заключение

В рамках данной работы была проведена серия расчетов по определению динамики и прочности габаритно-весового макета прибора при высокоинтенсивном нагружении.

Для расчетов применялся отечественный пакет программ численного моделирования ЛОГОС, разрабатываемый во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Выполнено сравнение результатов проведенных расчетов с экспериментальными данными.

В обоих случаях нагружения расчетные графики ускорений качественно хорошо согласуются с экспериментальными. Различие максимальных расчетных ускорений от экспериментальных для осевого случая нагружения ОИ составило $\sim 9\%$, для бокового $\sim 6\%$.

Полученные данные позволяют сделать вывод о применимости ПП ЛОГОС для решения задач подобного класса с приемлемой для инженерных расчетов точностью.

Литература

1. www.vniief.ru
2. Иванова О. В., Краюхин С. А., Михайлов И. А. и др. Стенд динамических испытаний. Патент РФ на изобретение № 2467300, опубл. 20.11.2012, бюл. № 32.
3. Прибор регистрации ударного ускорения АПРУУ2. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.28.046.A № 55526 от 06.11.2014.