

УДК 004.9

Л.В. Губич, И.В. Лебедев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАДЕНИЯ ТЕЛЕВИЗОРА НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Приводится расчетная модель телевизора и упаковки с набором существенных параметров. Определяются требования и факторы для процедуры решения задачи моделирования падения телевизора в упаковке с заданной высоты в 3D-постановке. Указываются основные этапы проведения анализа с учетом использования для расчета кластерных высокопроизводительных мультипроцессорных вычислительных систем. Предоставляется возможность визуального контроля результатов проектирования, даются общие рекомендации по уменьшению контактных взаимодействий между корпусом телевизора и стальной плитой при ударе.

Введение

Требования рынка и постоянно возрастающая конкуренция со стороны ведущих западных производителей, а также стремительный рост объемов производства современной телевизионной техники российских производителей определили острую необходимость активизации инновационной деятельности ОАО «Горизонт», роста объемов инвестиций на совершенствование технического уровня производства и на этой базе наращивания выпуска современной конкурентоспособной продукции.

В 2006 г. закончена разработка новых LCD-телевизоров на базе новейших мультипроцессоров LOC производства компании NXP Semiconductors. Мультипроцессоры LOC используются мировыми лидерами в производстве жидкокристаллических телевизоров. Это означает, что предложенные рынку модели будут конкурентоспособными по основным параметрам аппаратов ведущих мировых производителей.

Учитывая тенденции развития рынка, ОАО «Горизонт» планирует ежегодное увеличение производства LCD-телевизоров, а также выпуск PDP-телевизоров. Наряду с разработкой телевизоров с жидкокристаллическими дисплеями и плазменными панелями, предприятие проводит разработки традиционных телевизоров с электронно-лучевой трубкой.

Исходя из возросших потребностей рынка, наиболее актуальным становится вопрос об уменьшении транспортных расходов и безопасности транспортировки при перемещении корпусных деталей телевизоров и телевизоров в целом. Таким образом, чтобы избежать поломок при падении, целесообразно предусмотреть предельные контактные напряжения, возникающие при падении транспортируемого телевизора в упаковке. Разумеется, замена натуральных испытаний на виртуальные приведет к уменьшению издержек производства. В статье рассматриваются результаты, получаемые при решении данной задачи с использованием средств инженерного анализа на платформе высокопроизводительных мультипроцессорных вычислительных систем.

1. Постановка технической задачи

Поставленную задачу невозможно решить, ограничившись лишь статическими средствами моделирования. Тем не менее, моделирование падений полностью собранного телевизора в упаковке (в первую очередь построение конечно-элементной сетки) является очень ресурсоемкой задачей.

Предполагается использовать следующие упрощения: целый телевизор представить как корпус, при этом параметры такой упрощенной модели должны максимально точно соответствовать реальному телевизору. Так же моделируются упаковка телевизора (картон) и плоскость соударения (стальная плита), при этом задается определенная высота от плоскости плиты соударения. Угол между плоскостью плиты соударения и плоскостью дна упаковки считается равным нулю градусов.

В общем виде перечень характерных (существенных) параметров, участвующих в проведении анализа процесса падения телевизора в упаковке с заданной высоты, может быть задан следующим выражением:

$$\text{MainPar} = \text{mod}(\text{mat}; \rho; \sigma; \Omega; \text{elem}; \text{prop}), \quad (1)$$

где MainPar – совокупность характерных (существенных) параметров расчетной модели исследования;

mod – расчетная модель, участвующая в проведении анализа;

mat – материал расчетной модели;

ρ – плотность материала расчетной модели;

σ – модуль Юнга, соответствующий материалу расчетной модели;

Ω – коэффициент Пуассона, соответствующий материалу расчетной модели;

elem – тип элемента расчетной модели;

prop – свойство материала расчетной модели.

Таким образом, процесс падения телевизора в упаковке с заданной высоты в общем виде может быть представлен так, как это показано на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

$\text{Tv}(\text{mat}_{\text{tv}}; \rho_{\text{tv}}; \sigma_{\text{tv}}; \Omega_{\text{tv}}; \text{elem}_{\text{tv}}; \text{prop}_{\text{tv}})$ – совокупность характерных параметров корпуса телевизора;

$\text{Упак}(\text{mat}_{\text{упак}}; \rho_{\text{упак}}; \sigma_{\text{упак}}; \Omega_{\text{упак}}; \text{elem}_{\text{упак}}; \text{prop}_{\text{упак}})$ – совокупность характерных параметров упаковки;

$\text{Плит}(\text{mat}_{\text{плит}}; \rho_{\text{плит}}; \sigma_{\text{плит}}; \Omega_{\text{плит}}; \text{elem}_{\text{плит}}; \text{prop}_{\text{плит}})$ – совокупность характерных параметров плиты соударения;

H – высота корпуса телевизора и упаковки над плитой соударения, с которой осуществляется падение;

\vec{U} – направление и величина вектора скорости, с которой осуществляется падение.

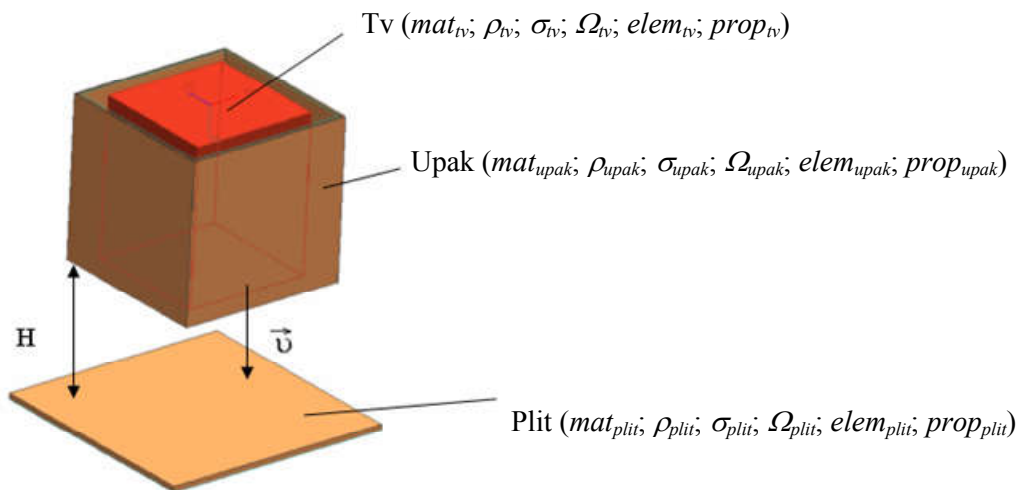


Рис. 1. Процесс падения телевизора в упаковке с заданной высоты в общем виде

2. Требования к моделированию падения телевизора в упаковке с заданной высоты

При моделировании падения телевизора в упаковке с заданной высоты перед инженером встает ряд сложных задач, от решения которых зависит точность полученного решения. Ключевой фактор – разработка корректной конечно-элементной модели [1]. Модель разрабатывается исходя из следующих требований:

- к качеству элементов;
- сетке;
- упрощению геометрии;
- выбору контактных моделей;
- времени расчета.

После создания модели необходимо проверить ее на выполнение следующих условий:

- отсутствие начальных взаимопроникновений деталей;
- расчет удара без потери устойчивости вычислительного процесса;
- отсутствие вырождения элементов.

Свойства материалов определяются на основе нормативно-справочной технической литературы [5] и уточняются опытным путем.

3. Упрощение геометрической модели

Общей рекомендацией при проведении численного моделирования является приведение первоначальной геометрической модели (3D-модели реальной детали или машиностроительного изделия, созданной на этапе конструирования средствами твердотельного и поверхностного моделирования) к расчетной модели (упрощенной геометрической модели, которая используется непосредственно для анализа). Данный процесс упрощения или идеализации подразумевает удаление из рассматриваемой геометрической модели объекта всех элементов, не участвующих напрямую в моделируемом процессе, и тех ее элементов, которые несущественно влияют на результаты анализа (рис. 2). Эта рекомендация основана на значительном увеличении требуемого объема вычислительных ресурсов при излишней детализации геометрии частей, например при разбиении модели, которая содержит различные элементы, не влияющие на проведение анализа. Увеличивается общее количество элементов, а следовательно, и время проведения вычислений.

Таким образом, конструкторская документация и 3D-модели, формируемые специально для численного анализа, могут иметь существенные различия.



Рис. 2. Реальная и упрощенная 3D-модели телевизора

Исходя из того что моделирование падения телевизора было принято проводить при угле между плоскостью плиты соударения и плоскостью дна упаковки, равном нулю градусов (стандартная ориентация упаковки), целесообразно упростить не только модель корпуса телевизора, но и модель упаковки, так как при соударении упаковки со стальной плитой контактные напряжения возникают исключительно на ее дне, а на боковые стенки либо не передаются вовсе, либо величина контактных напряжений незначительна (рис. 3).

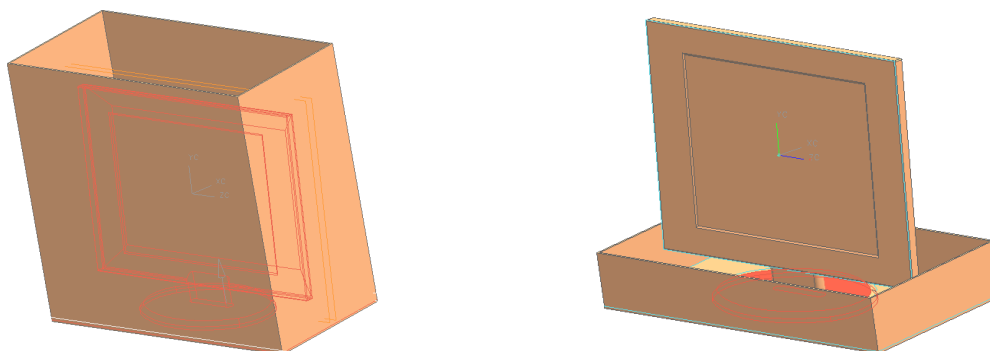


Рис. 3. Упрощенные 3D-модели телевизора и упаковки

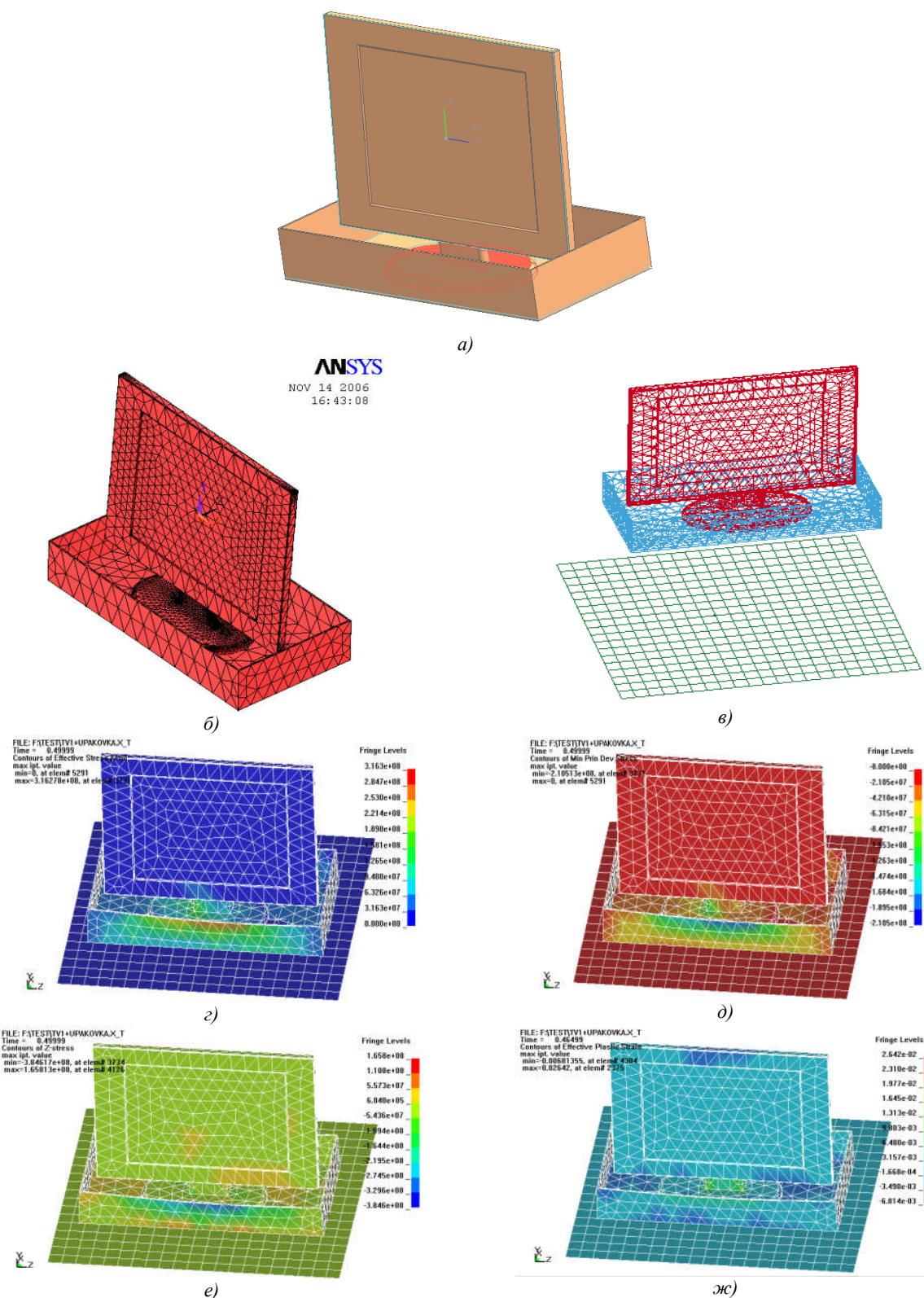


Рис. 4. Решение задачи падения телевизора в упаковке с заданной высотой в 3D-постановке:
 а) упрощенная трехмерная модель телевизора и упаковки; б) сеточная модель телевизора и упаковки в пакете инженерного анализа ANSYS; в) конечно-элементная модель в среде LS-PrePost; г) поле распределения эквивалентных по Мизесу напряжений при соударении корпуса телевизора и упаковки со стальной плитой; д) напряжения отклонения, возникающие при контакте корпуса телевизора и упаковки со стальной плитой; е) поле распределения напряжений по оси Z при контакте корпуса телевизора и упаковки со стальной плитой; ж) пластические натяжения, возникающие при соударении корпуса телевизора и упаковки о стальную плиту

4. Описание процедуры решения задачи падения телевизора в упаковке с заданной высоты в 3D-постановке

Основными этапами компьютерного трехмерного проектирования и инженерного анализа процесса падения телевизора в упаковке с заданной высоты являются:

- построение 3D-модели, формирование сетки конечных элементов и базовых расчетных данных для инженерного анализа в пакете ANSYS (выбор типа элемента, адекватной модели материала и др.) [2–5] (рис. 4, а, б);
- передача модели в пре- и постпроцессор пакета LS-DYNA – LS-PrePost (рис. 4, в);
- формирование структуры расчетной модели для численного анализа в пакете LS-PrePost (выбор адекватной модели материала; задание начальных условий движения частей модели, условий контакта между частями модели и др.);
- компьютерный анализ состояния конструкции в решателе LS-DYNA [6] (решение задачи в 3D-постановке с применением кластерных мультипроцессорных вычислительных систем);
- визуальный контроль результатов проектирования, оптимизация параметров модели (рис. 4, г–ж).

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для проведения инженерного анализа процесса падения телевизора в упаковке с заданной высоты

| Конструктивный элемент | Материал | Плотность, кг/м ³ | Модуль Юнга, Па | Коэффициент Пуассона | Тип элемента | Свойство материала |
|------------------------|------------|------------------------------|-----------------|----------------------|--------------|--------------------|
| Корпус телевизора | Пластмасса | 1350 | 3,56E+010 | 0,36 | SOLID164 | Elastic |
| Упаковка | Картон | 690 | 1,82E+010 | 0,37 | SOLID164 | Elastic |
| Плита соударения | Сталь | 8030 | 1,93E+011 | 0,29 | SHELL163 | Rigid |

Падение корпуса телевизора в упаковке моделируется с высоты 0,5 м от плоскости плиты соударения. Угол между плоскостью плиты соударения и плоскостью дна упаковки считается равным нулю градусов (стандартная ориентация упаковки). Скорость корпуса и упаковки при контакте с плитой принимается равной 5 м/с. Время завершения анализа 3 с.

5. Особенности постановки задачи инженерного анализа в пакете LS-DYNA на суперкомпьютерах семейства СКИФ

Для обмена электронными данными на дисковом пространстве кластера была создана структура каталогов, обеспечивающая оперативный обмен и хранение данных (файлов) с соответствующими правами доступа.

Для обеспечения удаленного доступа к кластерам СКИФ и для визуализации результатов проектирования на персональном компьютере было установлено и настроено следующее прикладное программное обеспечение:

- утилита для защищенного терминального доступа на UNIX-хосты putty и клиент безопасного копирования rscp;
- менеджер файлов Total Commander с sftp-плагином для удаленного копирования файлов;
- NFS-клиент для ОС Windows для обеспечения возможности работы по протоколу NFS с пользовательскими директориями, расположенными на управляющих машинах кластеров.

Подключение к кластерам осуществлялось с помощью утилиты защищенного терминального доступа putty.

После указания логина и пароля командой mc открывался менеджер файлов GNU Midnight Commander, позволяющий перемещаться по рабочим директориям. С помощью менеджера файлов Total Commander со встроенным sftp-плагином осуществлялась передача входного файла для пакета LS-DYNA из локального каталога в рабочий каталог на кластере, в котором хранятся выходные файлы, полученные в результате расчета.

Запуск задания на кластере выполнялся с помощью запускающего скрипта – командного файла, в котором указаны версия решателя LS-DYNA, требуемые ресурсы (число процессоров,

время решения и т. п.) и который может быть создан любым текстовым редактором. Запуск скрипта должен быть осуществлен в открытом рабочем каталоге для данного входного файла. Для этого в командной строке указывалось имя скрипта, имя и расширение входного файла:

`<script_name> <file_name> .k`

Для настройки файла сценария достаточно изменить следующие параметры (они должны быть согласованы с администратором):

`ncpu=1` – количество процессоров;

`i=$1` – точность (1 – одинарная, 2 – двойная);

`memory=XXXm` – число слов для выделения памяти на узле, выполняющем декомпозицию задачи (при одинарной точности слово занимает 32 бита, $200\text{ m} = 200\ 000 = 800\text{ МБ}$). При запуске задач с одинарной точностью на узле в монопольном режиме (два процесса на узел) максимальный объем запрашиваемой памяти не должен превышать 900 m слов, при запуске одного процесса на узел – не более 450 m слов. Для задач с двойной точностью запрашиваемый объем должен быть соответственно в два раза меньше;

`Node-034` – указание номера узла, участвующего в решении задачи;

`share/lsdyna/bin/smp970s` – полный путь к исполняемому файлу.

Использование для расчета кластерных высокопроизводительных мультипроцессорных вычислительных систем (по сравнению с решением поставленной задачи на локальном АРМ) имеет ряд преимуществ, прежде всего касающихся времени проведения анализа (табл. 2).

Таблица 2

Преимущества решения задачи падения телевизора в упаковке на суперкомпьютере семейства СКИФ, по сравнению с компьютером обычной конфигурации

| Компьютер | Время завершения анализа |
|---|--|
| Операционная система Microsoft Windows XP Пакет обновления ОС Service Pack 1 Тип ЦП Intel Celeron 4A, 2400 MHz (4,5 × 533) Системная плата Asus P4S8X Чипсет системной платы SiS 648 Системная память 768 МБ (DDR SDRAM) | Elapsed time 3995 seconds (1 hours 6 min. 35 sec.) |
| Суперкомпьютер семейства СКИФ | Elapsed time 555 seconds (0 hours 9 min. 15 sec.) |

6. Рекомендации для проектировщика

Разработанный метод построения компьютерной модели (рис. 5) представляет собой последовательность действий над «входной» моделью объекта (реальной трехмерной моделью телевизора с набором характерных параметров), направленных на генерацию «выходной» модели объекта (конечно-элементной модели телевизора, позволяющей отследить различные виды контактных напряжений, которые возникают при соударении телевизора со стальной плитой).

Данный метод построения и анализа расчетной модели позволил получить некоторые из видов контактных напряжений (поле распределения эквивалентных по Мизесу напряжений, напряжения отклонения, пластические натяжения, поле распределения напряжений по оси Z), возникающих при соударении корпуса телевизора и упаковки о стальную плиту. Благодаря визуальному контролю результатов проектирования можно отследить самые неблагоприятные зоны возникновения контактных напряжений: дно упаковки и, как следствие, подставку корпуса телевизора, а также держатель кожуха и кинескопа.

Таким образом, общими рекомендациями по уменьшению контактных взаимодействий между корпусом телевизора и стальной плитой при ударе являются:

– увеличение толщины упаковки, что уменьшит деформацию корпуса телевизора при падении и тем самым вызовет снижение контактных напряжений на дне (рис. 6);

– смещение центра масс путем уменьшения угла наклона плоскости кинескопа относительно плоскости соударения, что, в свою очередь, уменьшит нагрузку на держатель кожуха и кинескопа (рис. 7).

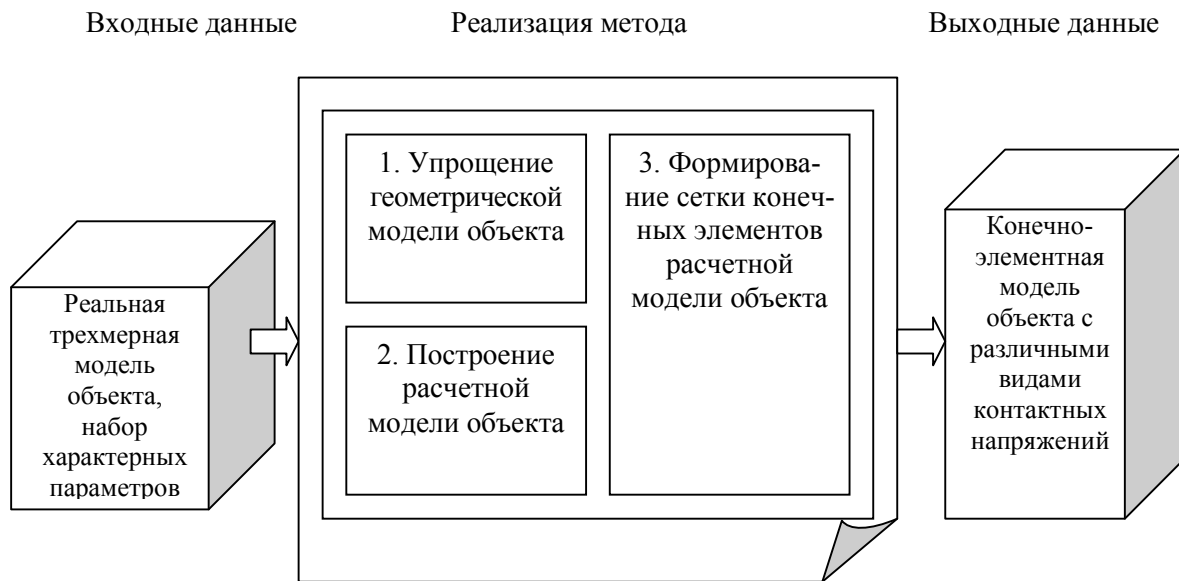


Рис. 5. Метод построения расчетно-аналитической модели

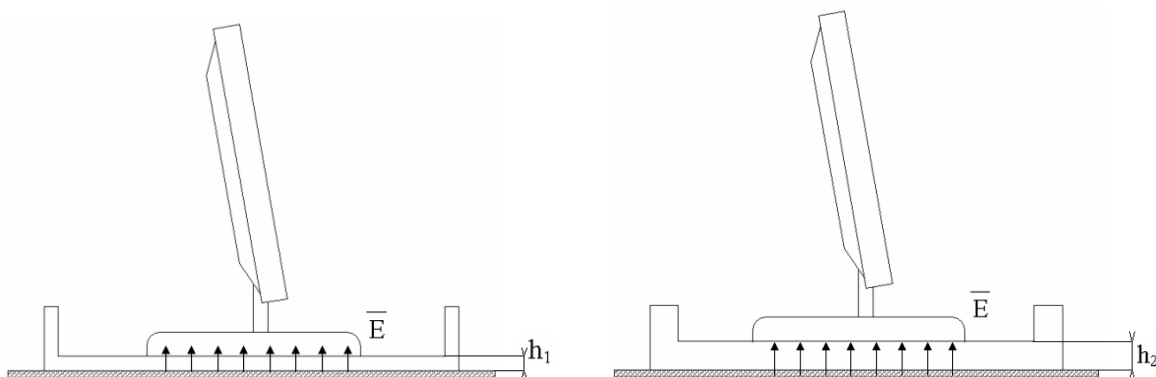


Рис. 6. Увеличение толщины упаковки и снижение контактных напряжений на ее дне;
 \bar{E} – направление и величина вектора деформации (при неизменной высоте падения и стандартной ориентации упаковки относительно плиты соударения остается величиной инвариантной);
 h_1 и h_2 – меньшая и большая толщина упаковки соответственно

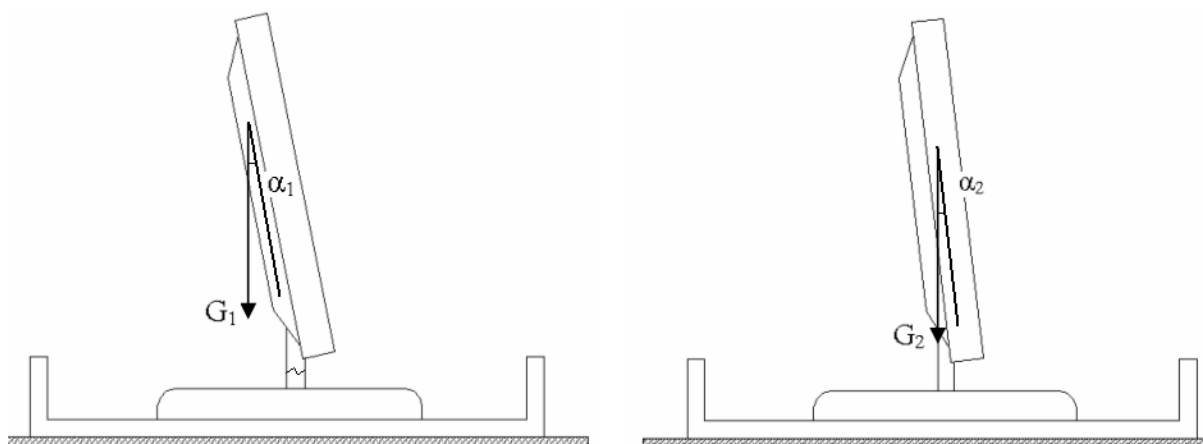


Рис. 7. Уменьшение угла наклона плоскости кинескопа относительно плоскости плиты соударения, где α_1 и α_2 – углы наклона между плоскостью кинескопа и плоскостью плиты соударения; G_1 – величина и направление вектора силы тяжести при угле α_1 ; G_2 – величина и направление вектора силы тяжести при угле α_2

Заключение

Итогом проведенной работы стала разработка методики компьютерного трехмерного проектирования и инженерного анализа процесса падения телевизора в упаковке с заданной высотой. Полученные результаты позволят внедрить методы инженерного анализа на платформе высокопроизводительных мультипроцессорных вычислительных систем в процесс проектирования новых моделей телевизоров на ОАО «Горизонт», что снизит расходы на проведение натурных испытаний.

Список литературы

1. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
2. Басов, К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
3. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров: справочное пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
4. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
5. Альшиц, И.Я. Проектирование деталей из пластмасс: справочник / И.Я. Альшиц, Б.Н. Благов. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 215 с.
6. Гастев, В.А. Краткий курс сопротивления материалов / В.А. Гастев. – 2-е изд. – М., 1977. – 456 с.
7. LS-DYNA Keyword User's Manual. Vol. 1. – Livermore Software Technology Corporation, 2001. – 853 p.

Поступила 23.03.07

Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: Lab115@newman.bas-net.by

L.V. Gubich, I.V. Lebedev

**REVERSE ENGINEERING METHODS TO THE PROBLEM
OF PACKED TELEVISION SET DROPPING MODELING**

Calculation model of a television set in the package with number of essential parameters is given. Requirements and factors for the modeling the procedure of television set package dropping from given height are determined. The opportunity of visual design checking is given, including common recommendations for reducing contact interaction between television set cabinet and steel-plate when dropped.