

## Общие положения

1. ANSYS – крупномасштабный («тяжелый») многоцелевой конечноэлементный программный комплекс, который может быть использован для решения различных классов задач инженерного анализа.

Верифицируемые в настоящем отчете возможности ПК ANSYS включают решение установившихся и переходных задач теплопереноса, статический и динамический расчеты конструкций, расчет собственных частот и форм колебания и устойчивости. Программный комплекс содержит множество специальных опций, которые позволяют получить решение с учетом нелинейных эффектов, таких как пластичность, большие деформации, гиперупругость, ползучесть, конечные деформации и большие перемещения, контакт, изменение жесткости, температурная зависимость, анизотропия материала. С развитием ПК ANSYS были добавлены специальные возможности, такие, как подконструкции (суперэлементы), подмоделирование, случайные колебания и оптимизация. Эти возможности способствуют дальнейшему становлению ПК ANSYS как многофункционального инструмента в различных инженерных областях.

ПК ANSYS используется в коммерческих целях с 1970 года, широко применяется в аэрокосмической, автомобильной, строительной, электронной, энергетической, производственной, ядерной, пластмассовой, нефтяной и сталелитейной промышленности. Кроме того, многие консалтинговые фирмы и сотни университетов используют ПК ANSYS для расчетов, научных исследований и в образовательных целях. ПК ANSYS признается во всем мире как одна из наиболее широко используемых программ.

Основная цель данного верификационного отчета заключается в том, чтобы продемонстрировать широкий круг конечных элементов и возможностей ПК ANSYS в задачах, которые имеют "классическое" или легко получаемое теоретическое решение. Кроме того, тесное согласование решений ПК ANSYS с теоретическими результатами предоставляют пользователю уверенность в результатах ПК ANSYS. Была предпринята попытка включить большинство типов элементов и основные возможности ПК ANSYS в набор тестовых примеров. Эти примеры могут служить основанием для дополнительной проверки и уточнения возможностей ПК ANSYS самим пользователем.

2. «Библиотека» конечных элементов ПК ANSYS содержит более шестидесяти элементов для задач статического и динамического анализа, более двадцати – для задач теплопередачи, также включает в себя многочисленные элементы теории поля и специальные элементы. Это разнообразие элементов позволяет ПК ANSYS проводить расчёты балочно-стержневых, плитно-оболочечных, твердотельных и комбинированных систем в двумерной и трёхмерной постановке, а также позволяет решать нелинейные задачи, в т.ч. контактные задачи и расчёт вантовых систем.

3. ПК ANSYS непрерывно верифицируется разработчиками (ANSYS, Inc) по мере добавления новых возможностей. Верификация ПК ANSYS проводится в соответствии с процедурами, которые являются частью Гарантии Качества (Quality Assurance) всего ПК в ANSYS, Inc. Раздел «Verification manual» представляет собой небольшую библиотеку тестовых примеров Гарантии Качества (Quality Assurance), которая используется при проверке новых версий ПК ANSYS. В тестовых примерах численные результаты, полученные в ПК ANSYS, сопоставляются с известными теоретическими решениями, экспериментальными данными или другими независимыми расчетными решениями.

При помощи этих тестовых задач исследуется достоверность результатов, полученных в ПК ANSYS. Верификационные примеры основаны на ранее изданных работах в области статики, динамики и теплопередачи. В процессе верификации были выявлены объяснимые расхождения между численными результатами и экспериментальными данными (или аналитическим решением), которые можно считать приемлемыми.

4. Примеры отчета и методы решения были выбраны в качестве главного объекта. Некоторые задачи можно было бы решить более прямым способом, чем представлено здесь. В некоторых случаях одна и та же задача решается несколькими различными путями для демонстрации и проверки разных элементов и возможностей программы.

Поскольку ПК ANSYS способен решить очень сложную прикладную инженерную задачу, не имеющую в закрытой форме теоретического решения, относительно простых задач, решаемых в данном руководстве, оно не иллюстрирует всех возможностей ПК ANSYS.

5. Решения, полученные с помощью ПК ANSYS в этом отчете (томе 2), сравниваются с решениями, приведенными в книгах и технических публикациях. В некоторых случаях, указанных ниже, «эталонное» (целевое, теоретическое) значение может отличаться от указанного в литературе.

Различия между результатами по ПК ANSYS и целевыми результатами представлены как погрешность (в %) за исключением случаев, когда целевое решения равно нулю или имеет нечисловой характер.

6. На разных компьютерах и различных операционных системах могут получиться несколько иные результаты по некоторым из тестовых примеров.

Следует отметить, что для каждого примера сравниваются только те величины, которые приведены в теоретическом решении. В большинстве случаев конечноэлементное решение содержит значительное количество других полезных результатов.

7. Литература и ссылки, использованные для верификации, были выбраны по нескольким причинам. Хорошо известные и признанные книги были использованы, когда это возможно, другие источники, были использованы, если они были легко доступны для автора. Ссылки на периодические или технические журналы были использованы в тех случаях, когда нет книг в которых было бы описано решение. Книги должны быть доступны для покупки или в большинстве инженерных библиотек. Периодические издания доступны, как правило, в университетских библиотеках. В большинстве случаев перечисленные ссылки не является единственным источником теории или аналогичного описания задачи.

8. Данный отчет также содержит информацию о применимости, выборе и эффективности конечных элементов ПК ANSYS, алгоритмов построения сетки и алгоритмы решения в ряде тестовых примеров (benchmarks). Примеры предназначены для того, чтобы проиллюстрировать как корректное, так и неправильное применение конечных элементов в различных ситуациях. Результаты, представленные здесь, для некоторых тестовых случаев могут содержать ошибочные решения, но, на самом деле, эти ошибки являются «ожидаемыми» результатами для выбранного элемента, дискретизации и условий загрузки. Предоставляя результаты таких тестовых примеров, мы надеемся на то, что они послужат руководством при выборе соответствующих опций расчета.

9. Ряд примеров содержит сравнение решений по ПК ANSYS и нескольких тестов NAFEMS. NAFEMS (National Agency for Finite Element Methods and Standards) опубликовало много технических отчетов по инженерному анализу, которые стали стандартными отраслевыми тестами (benchmarks). Некоторые из этих тестов были воспроизведены здесь.

10. Авторы настоящего отчета (том 2) выполнили также следующую полезную работу:

1) отбор верификационных примеров, в наибольшей степени отражающих «строительную» ориентацию проводимой верификации;

2) технически выверенный перевод примеров (тестов) с дополнением необходимых подробностей, включая перевод исходных данных и результатов в системы единиц, принятые в России.

3) представление КЭ-моделей, методик и результатов расчетов в существенно более развернутой форме, отчасти демонстрирующее богатство средств ПК;

4) определение «погрешностей» (расхождений) полученных результатов по ANSYS с «эталонными» решениями в более наглядной форме( $\delta, \%$ )

$$\delta = |(A - B) / B| \cdot 100,$$

где A – расчетный параметр, B – величина «эталонного» решения;

5) соответствующая корректировка макросов (включая исправление выявленных погрешностей).