

К проблемам решения нелинейных задач

Корсаков В.В., Выгонный А.Г., Кисельков А.Л.

Минский автомобильный завод

Одним из основных узлов автомобильной техники Минского автомобильного завода, рассчитываемых с помощью продуктов фирмы MSC, является рама автомобиля. На первых этапах прочностных расчетов, при использовании программного обеспечения под DOS, рама конечноэлементной модели седельного двухосного тягача, при расчете в линейной постановке, включала:

- конечных элементов – 13 000;
- узлов – 10 000;
- степеней свободы – 60 000.

В состав модели входили конечные элементы первого порядка - оболочечные, моделирующие лонжероны, поперечины и кронштейны подвески, и балочные, моделирующие элементы подвески рамы.

Модель рассчитывалась на персональных компьютерах типа PC AT 486 DX2 или PC AT 486 DX4, с параметрами: тактовая частота – 60–100 МГц, оперативная память – 16 Мб, дисковое пространство – 1 Гб.

Время расчета составляло 3–5 часами машинного времени. Однако, сравнение результатов линейных расчетов с данными эксперимента показало, что обычно наиболее нагруженные места, выявленные при расчете, зачастую не совпадают с результатами испытаний на реальных конструкциях. Кроме того, в линейной постановке существенно завышается жесткость конструкции и наблюдается перераспределение напряжений.

При расчете рамы такого же седельного тягача в нелинейной постановке использовались контактные конечные элементы для моделирования болтовых, заклепочных соединений и контакта поверхностей усилителей, кронштейнов с лонжеронами и поперечинами. Конечноэлементная модель данной рамы (фрагмент модели см. **Рисунок 1.**) включала:

- конечных элементов – 24 000;
- узлов – 20 000;
- степеней свободы – 110 000;
- контактных элементов - 380.

Время расчета на PC в нелинейной постановке достигало 24 часов на одну итерацию (обычно рассчитывалось 2-3 варианта нагружения, по 20–25 итераций на один вариант). Для уменьшения времени под расчеты, экономии дискового пространства и введения параллельного расчета, использовался метод подконструкций. Модель разбивалась на 5-7 подконструкций и после расчета глобальной модели подконструкции параллельно рассчитывалась на нескольких компьютерах, что существенно упрощало расчет.

Рисунок 1 приводит одну из подконструкций. Результаты расчетов обрабатывались на различных постпроцессорах-визуализаторах местного производства, пример см **Рисунок 2.**

С появлением современного программного обеспечения, рабочих станций на базе UNIX-машин и под Windows NT проблема частично решилась для небольших задач, типа кронштейнов подвески, кронштейнов навесного оборудования и т.д., **Рисунок 3.**

Параметры UNIX-сервера, используемого для прочностных расчетов на Минском автозаводе: оперативная память - 720 Мб; тактовая частота – 180 МГц; дисковое пространство – 21 Гб.

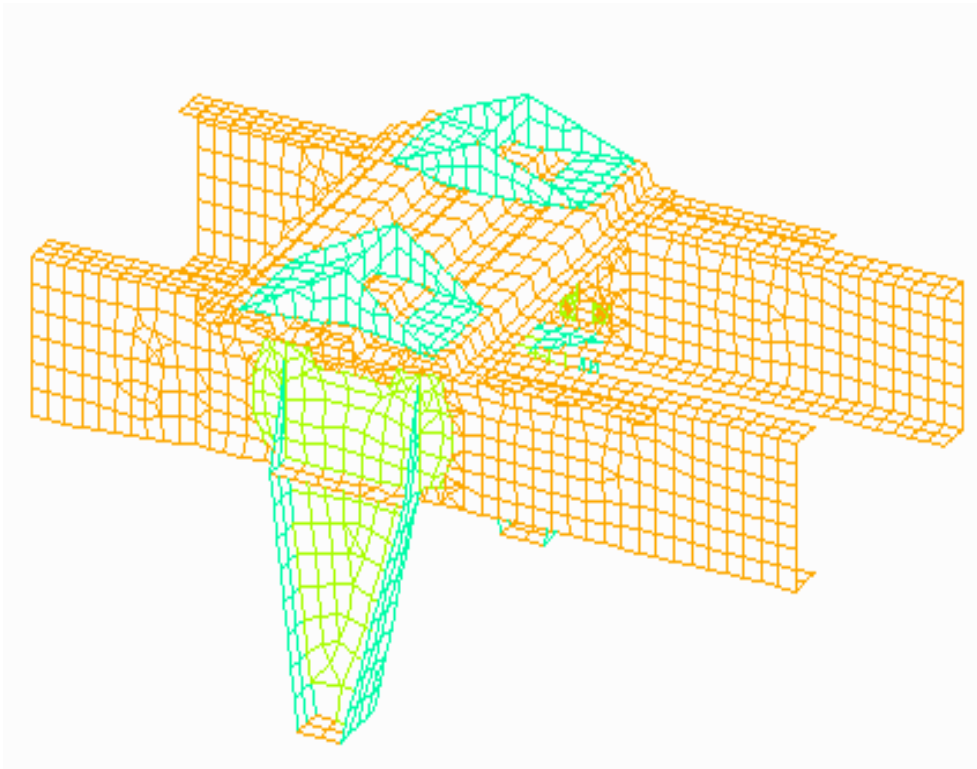


Рисунок 1 – Конечноэлементная модель для нелинейного расчета

Распределение напряжений на левой стороне поперечины № 1.

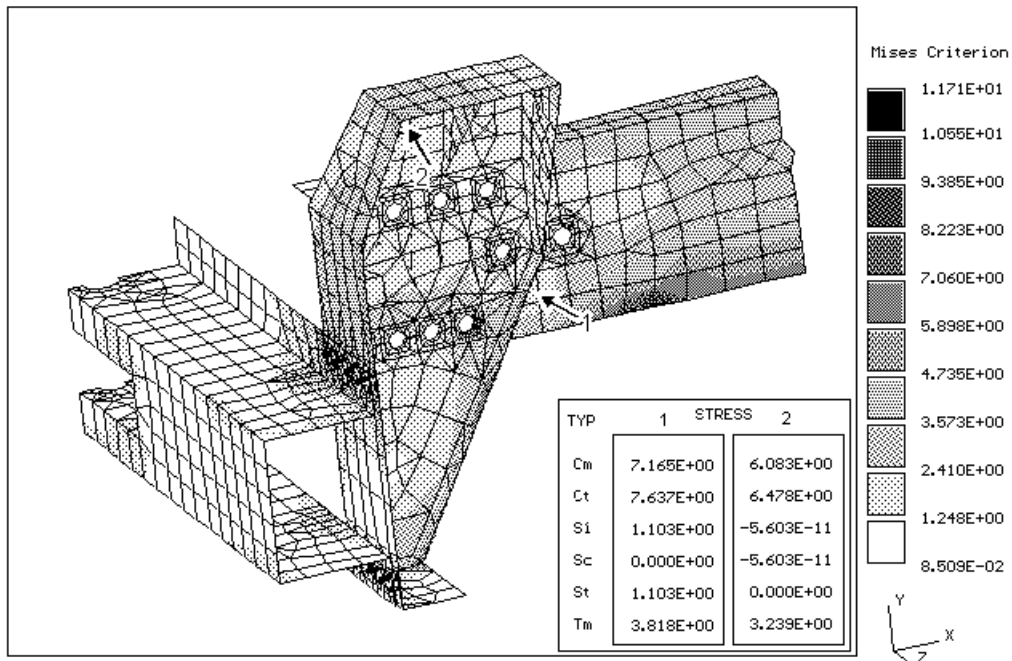


Рисунок 2 - Пример черно-белого изображения полей напряжений в постпроцессоре

Параметры персональных компьютеров, используемых для прочностных расчетов, пре- и постпроцессирования: оперативная память – 128-256 Мб; тактовая частота – 200-450 МГц; дисковое пространство – 4-8 Гб.

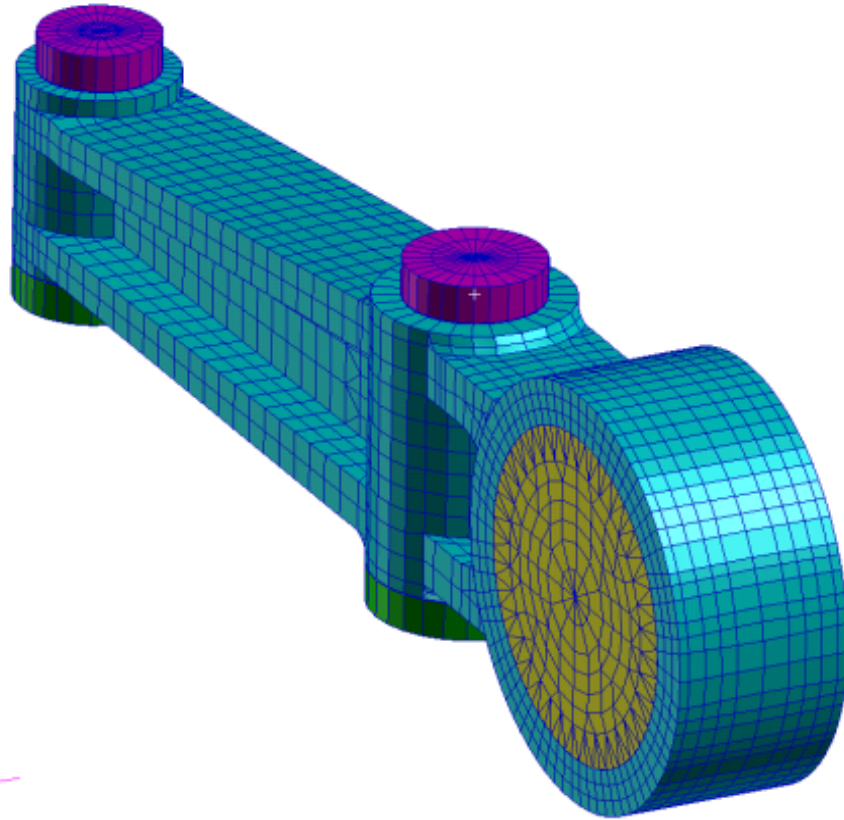
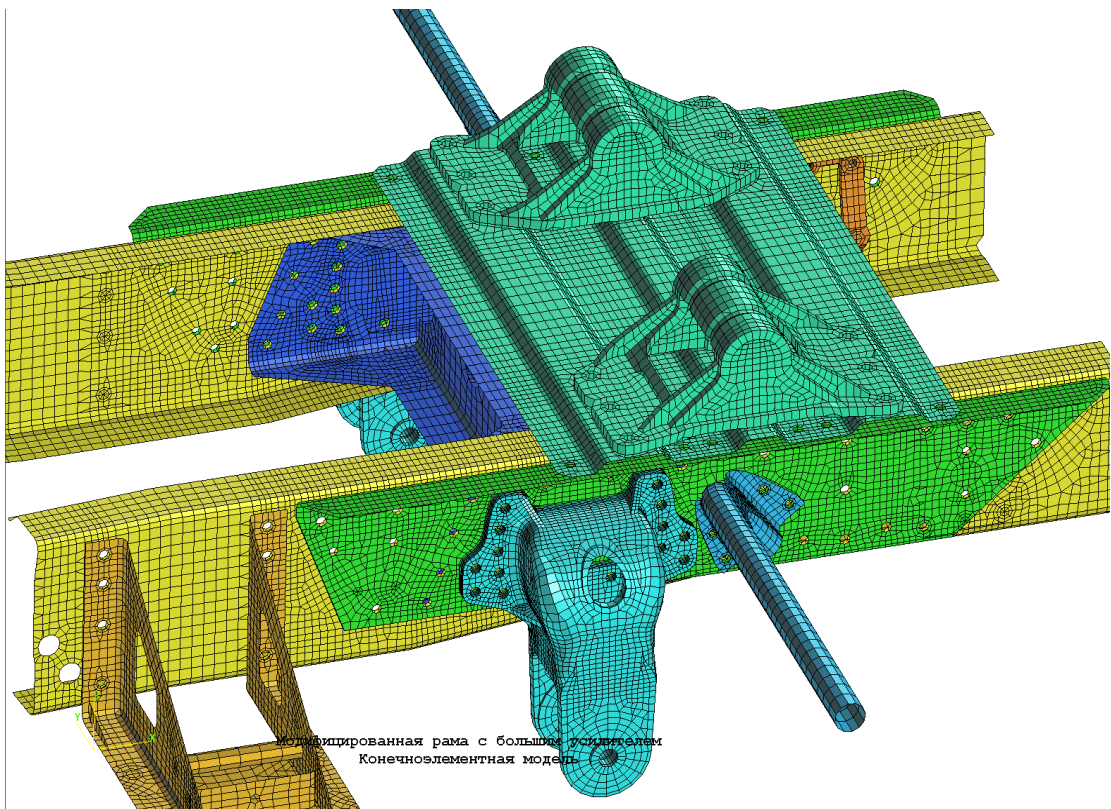


Рисунок 3 - Конечноеlementная модель кронштейна задней подвески

Рисунок 4 – Фрагмент конечноеlementной модели рамы двухосного седельного



Конфигурированная рама с большим усилителем
Конечноеlementная модель

тягача

Время расчета конструкций, см. **Рисунок 3**, сократилось до 1-2 часов на один случай нагружения в нелинейной постановке, что является вполне удовлетворительным результатом.

Однако проблема сокращения времени расчета рам в нелинейной постановке остается открытой. На данном этапе модель двухосного седельного тягача включает (фрагмент модели см. **Рисунок 4**):

- конечных элементов – 136 000;
- узлов – 137 000;
- степеней свободы – 640 000;
- контактных элементов – 22 000.

При хорошей сходимости время непрерывного счета подобной задачи на UNIX-сервере составляет 2-3 дня. Максимальной, по размеру, задачей, которая решалась на Минском автомобильном заводе, является расчет рамы трехосного самосвала, в сборе с надрамником и кузовом, **Рисунок 5**, **Рисунок 6**:

- узлов - 234 000;
- конечных элементов -231 000;
- конечных элементов контакта – 40 000;
- степеней свободы - 1 100 000.

Расчет данной модели в нелинейной постановке занял на сервере 143 часа, что в общем случае является большим сроком, т.к. необходимо учитывать, что при подобных задачах с первого раза невозможно получить хорошей сходимости решения и необходимо проведение нескольких запусков задачи, для выбора оптимального решения.

Проведенное тестирование MSC/NASTRAN на различных компьютерных платформах (NT 4.0 и UNIX 10.20) и компьютерах различных фирм показало, что современные машины, типа Pentium III 450 и выше, оснащенные Raid-дисками по быстродействию практически стоят на одном уровне с серверами и рабочими станциями на базе UNIX, **Таблица 1**.

Рисунок 7 графически представляет **таблицу 1**.

Как видно из таблицы, наличие Raid-дисков на персональных компьютерах и высокая тактовая частота позволяют решать задачи практически с такой же эффективностью, как раньше на рабочих станциях.

Так же из таблицы видно, что персональный компьютер, с меньшей тактовой частотой в 450 Гц имеет более высокую производительность по сравнению с компьютером в 500 Гц. Этот момент объясняется тем, что PIII-450 с Raid является продуктом фирмы COMPAQ, а PIII-500 с Raid является машиной местной сборки.

Конечно, время расчета в нелинейной постановке можно сократить за счет отказа от нелинейностей в тех зонах, которые являются несущественными при данном расчете. Такой вариант только в некоторой степени решает проблему, но при этом теряется унификация расчета (для каждой зоны приходится поводить свой отдельный расчет), что влечет за собой проблемы с хранением дополнительной информации, возможную путаницу в расчетах и т. д.

Кроме проблемы сокращения времени расчета нелинейных задач, за счет выбора платформы, целесообразно улучшить некоторые процедуры в существующих продуктах фирмы MSC, используемых на МАЗе:

- введение автоматической функции контакта “поверхность-поверхность”, без явного задания контактных конечных элементов (подобно имеющейся в DYTRAN);
- улучшить алгоритм расчета контактных задач с целью снижения времени расчета в NASTARN;
- ввести в PATRAN функцию (автоматическую или ручную), подобную функции компрессии базы данных, т.к. на данном этапе при последовательном внесении изменений в модель постепенно увеличивается время выполнения команд.

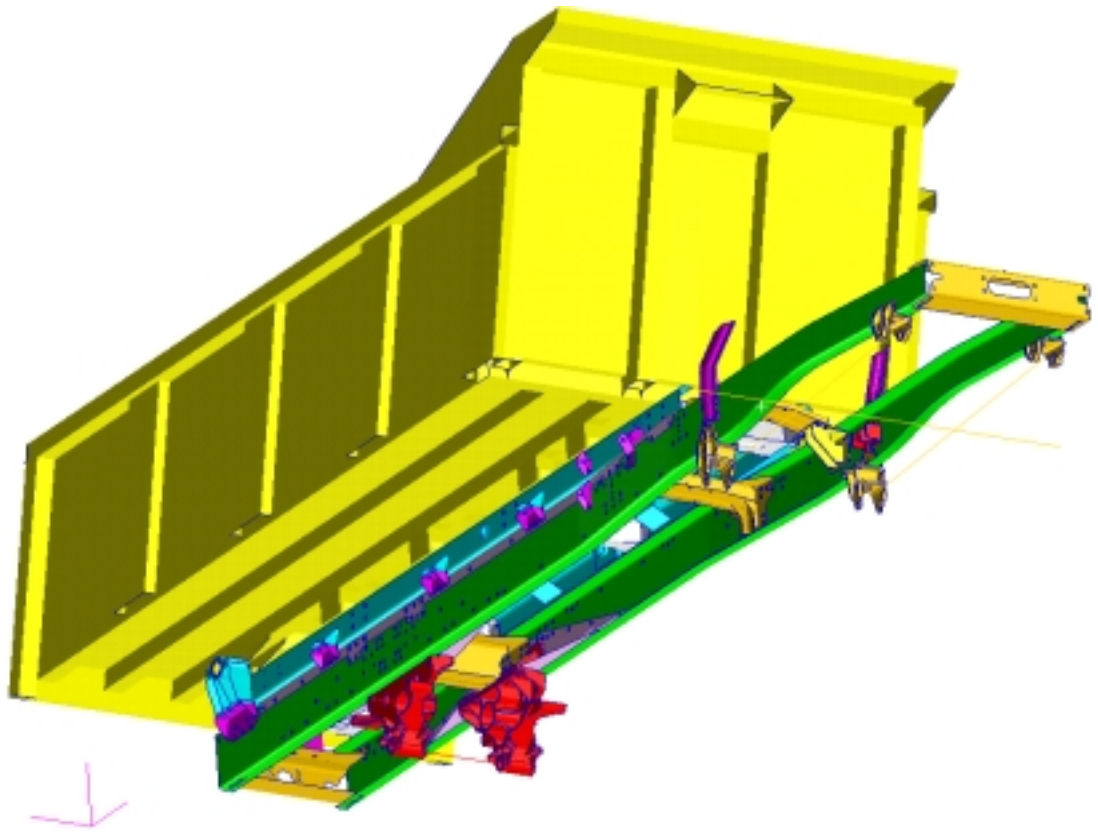


Рисунок 5 - Кочноэлементная модель рамы самосвала (границы КЭ не показаны)

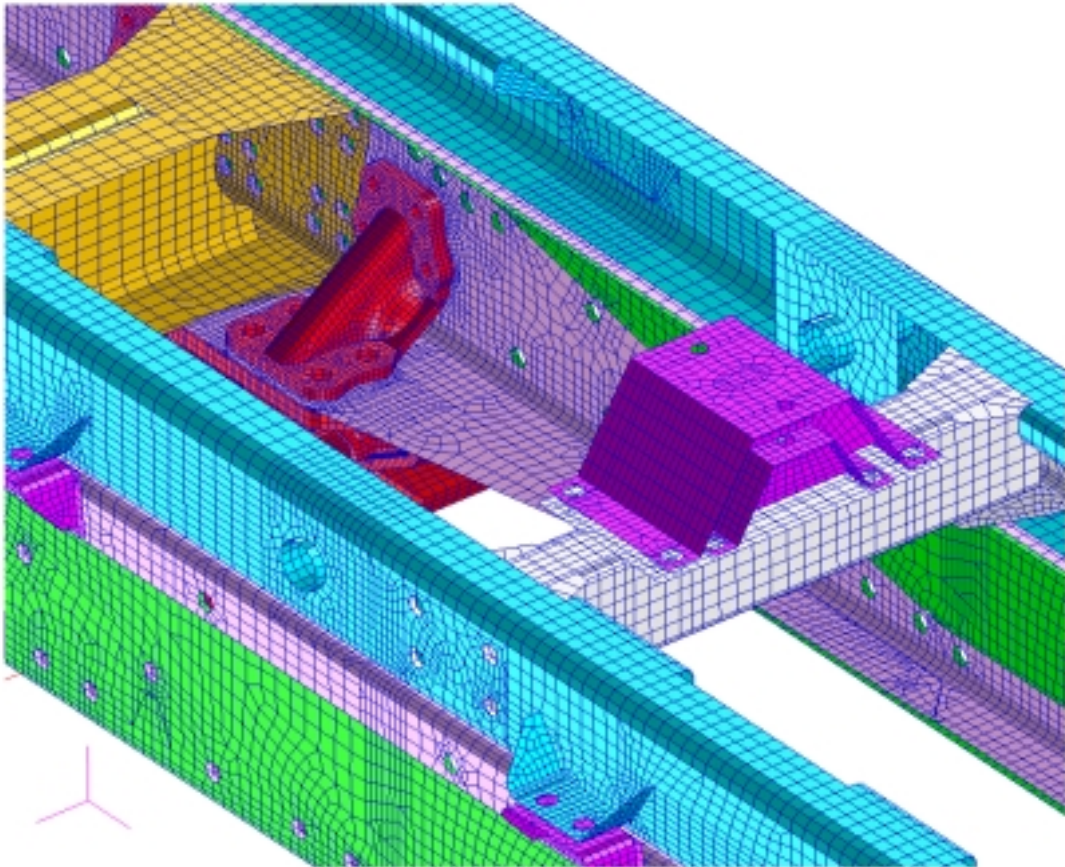


Рисунок 6 - Фрагмент конечноэлементной модели рамы самосвала

Таблица 1 - Тест на скорость расчета с использованием пакета MSC/Nastran

Тип компьютера		Задача 1 (нелинейная)	Задача 2 (линейная)
1	PPro-200 1 CPU RAM 128 Mb HDD 2x4Gb (7200 rpm)UW SCSI	2 : 22 : 14 (8 537 с)	2 : 16 : 52 (8 212 с)
2	PIII-450 1 CPU RAM 256 Mb HDD 1x8Gb	1 : 29 : 04 (5 344 с)	1 : 20 : 24 (4 824 с)
3	PIII-450 1 CPU RAM 256 Mb HDD 3x9Gb Raid 0	0 : 42 : 43 (2 563 с)	0 : 33 : 29 (2 009 с)
4	PIII-500 1 CPU RAM 256 Mb HDD 35Gb Raid 0	0 : 43 : 24 (2 604 с)	0 : 43 : 11 (2 591 с)
5	PIII-600 1 CPU RAM 256 Mb HDD 32Gb Raid 0	0 : 38 : 37 (2 317 с)	0 : 33 : 26 (2 006 с)
6	Сервер UNIX 2 CPU 180 MHz RAM 640 Mb HDD 21Gb (7200 rpm)UW SCSI	0 : 48 : 48 (2 928 с)	0 : 32 : 58 (1 978 с)

- задача 1 – нелинейный расчет элемента рычага подвески, Рисунок 3;
- задача 2 – линейный расчет половины рамы самосвала, Рисунок 5.

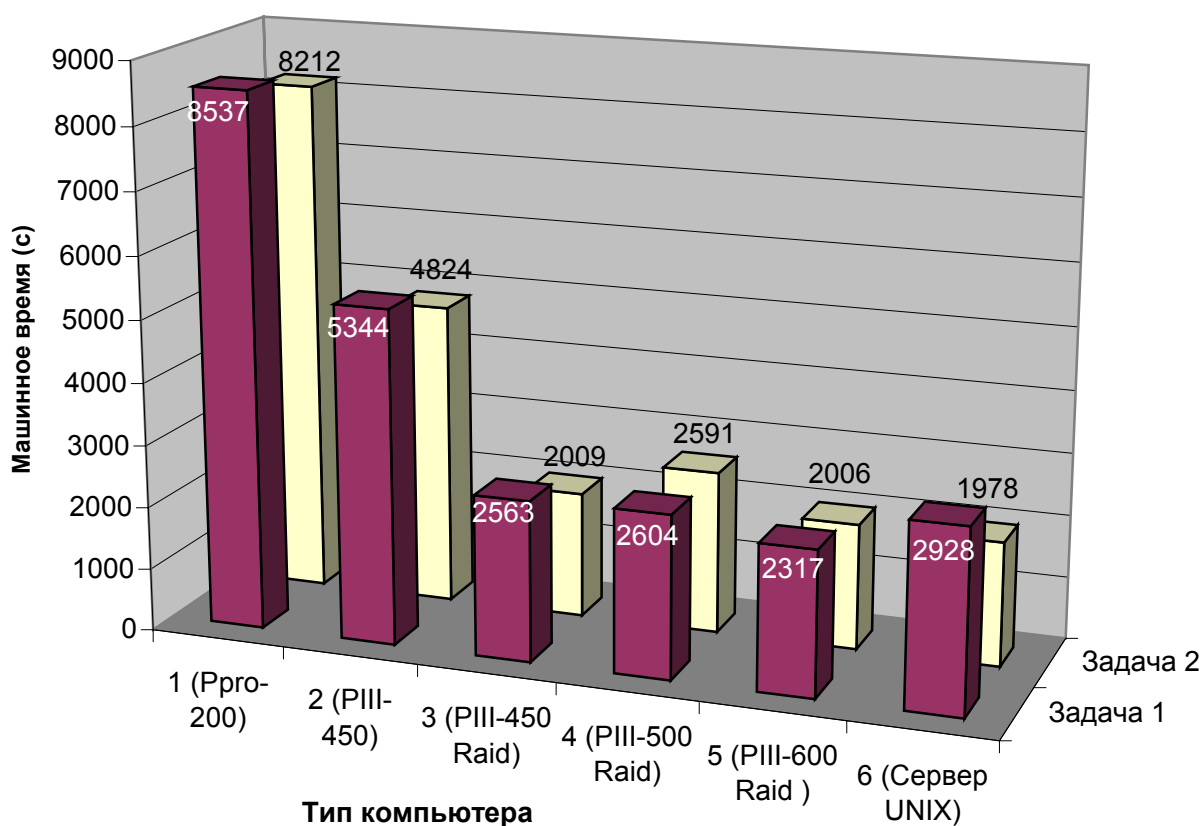


Рисунок 7 – Графическое представление таблицы 1